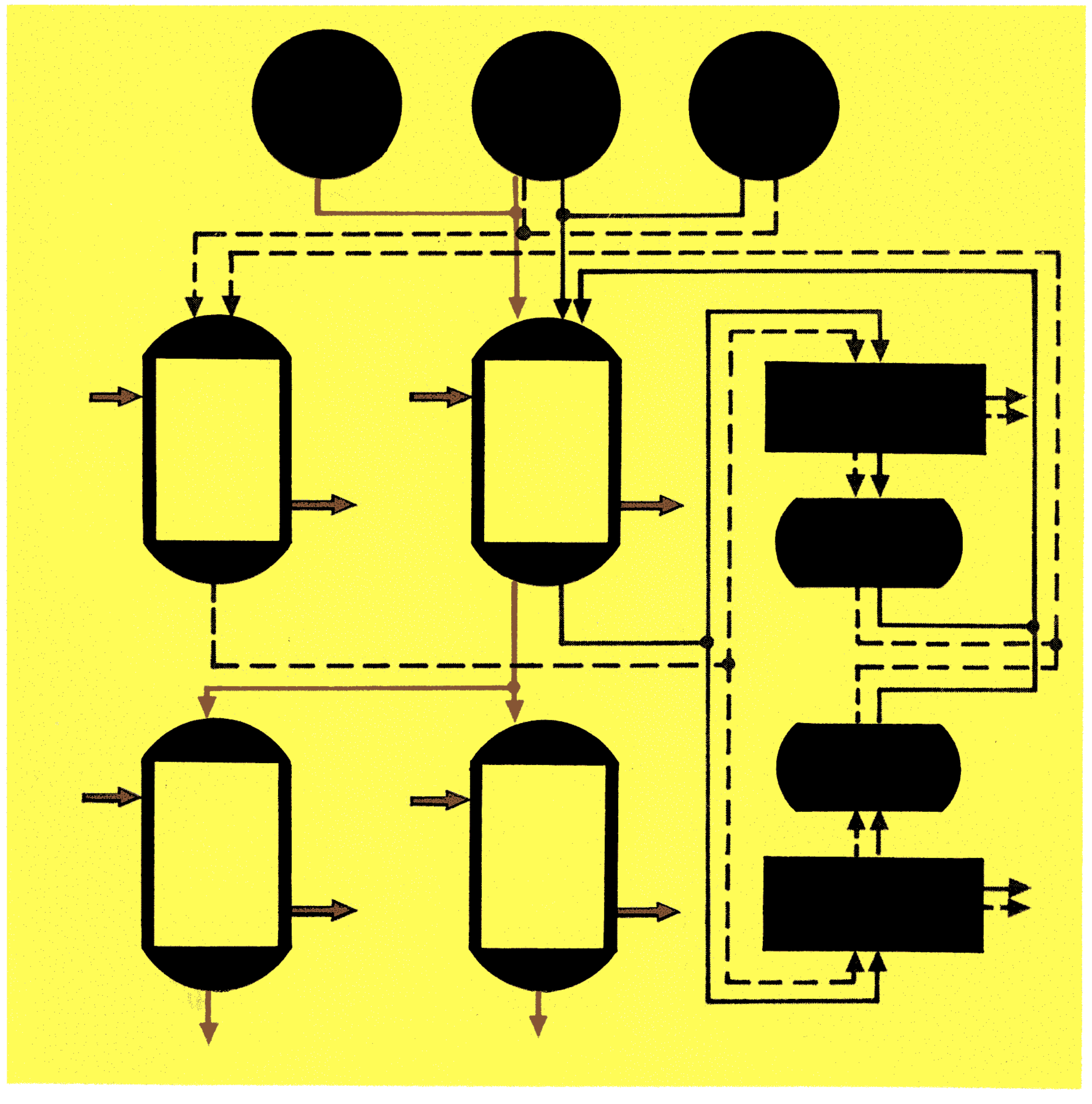
# msr 5

## messen · steuern · regeln





VEB
Verlag Technik
Berlin
Mai 1984
EVP: 4,- M

# Fachtagung AVEX '84

## (Automatisierung verfahrenstechnischer Experimente) an der Technischen Hochschule „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg, Sektion Verfahrenstechnik

*Am 24. Mai 1984 veranstaltet die Sektion Verfahrenstechnik der Technischen Hochschule „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg die Fachtagung „Automatisierung verfahrenstechnischer Experimente" AVEX '84. Mit der Ausrichtung dieser Tagung ist der Wissenschaftsbereich Automatisierungstechnik der Sektion Verfahrenstechnik beauftragt worden.*

*Einige der wichtigsten Beiträge dieser Fachtagung werden in diesem Heft der msr veröffentlicht.*

*Die Technische Hochschule „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg feiert im Jahre 1984 ihr 30jähriges Bestehen, und der Wissenschaftsbereich Automatisierungstechnik geht auf eine Institutsgründung im Jahre 1964 zurück, existiert also gerade 20 Jahre. Dieses doppelte Jubiläum veranlaßt uns, eines der an diesem Bereich nunmehr seit mehreren Jahren erfolgreich bearbeiteten Forschungsgebiete im nationalen Rahmen zur Diskussion zu stellen, wobei Beiträge aus dem sozialistischen Ausland das Spektrum der Vorträge erweitern.*

*AVEX '84 ist in der DDR die erste Fachtagung auf einem Gebiet, das sich unter dem übergeordneten Begriff „Automatisierung wissenschaftlicher Experimente" seit etwas mehr als 10 Jahren international zu entwickeln und zu profilieren beginnt. Dazu haben vor allem Arbeiten aus der UdSSR maßgebend beigetragen. Ziel wissenschaftlicher Experimente war seit jeher, entweder Zusammenhänge zwischen Einflußgrößen und Aufgabengrößen eines Versuchsobjekts zu ermitteln, oder solche Zusammenhänge, soweit sie theoretisch gefunden worden waren, zu bestätigen. Moderne Forschungsexperimente erweisen sich dabei als immer komplizierter und aufwendiger, weil sie, genau so wie die Wissenschaft selbst*

- *in weiter entfernte und damit der menschlichen Anschauung und Beobachtung unzugänglichere Bereiche der materiellen Welt vordringen, sich also in die Tiefe entwickeln*
- *oder/und sich mit den Zusammenhängen eines in einer Gesamtheit von Vorgängen existierenden und wirksam werdenden Komplexes von Einzelerscheinungen befassen, und sich damit in die Breite ausdehnen.*

*Die Experimentiereinrichtungen selbst, bestimmt zur Lösung einer schier unübersehbaren Vielfalt von Einzelproblemen auf Gebieten von Naturwissenschaften, Medizin und Technik, sind durch eine nahezu ebenso große Vielfalt technischer Einrichtungen, Strukturen und Probleme gekennzeichnet.*

*Automatisierung wissenschaftlicher Experimente läßt Ideen, Methoden und Geräte der Technische Kybernetik in die Experimentation einfließen, um Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Experimente so effektiv wie möglich zu gestalten und den Informationsgehalt des Versuchs voll zu erschließen.*

*Die Automatisierung wissenschaftlicher Experimente beginnt, sich heute als ein in gewissem Umfang eingeständiges querschnittsorientiertes Wissenschaftsgebiet zu formieren, das auf Elementen der mathematischen Statistik, der Informations- und Rechentechnik, der Steuerungstechnik, Systemtechnik und Technischen Kybernetik aufbaut. Dabei nehmen unter den technischen Mitteln die Rechentechnik und Mikrorechentechnik einen hervorragenden Platz ein. Ohne die Entwicklung dieser Techniken wäre der im Interesse der experimentellen Forschung unabdingbare Fortschritt des Gebiets schlechterdings unmöglich, gewesen.*

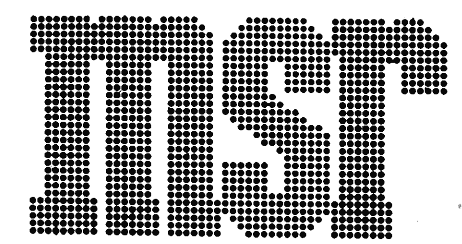
*Die Tagung AVEX '84 will sich aus dem Gesamtgebiet der wissenschaftlichen experimentellen Forschung auf diejenigen naturwissenschaftlich-technischen Gebiete konzentrieren, die für Forschungsarbeiten zu Problemen der Stoffwandlung, -trennung, -verarbeitung und -charakterisierung bedeutsam sind. Gegenstände der Tagung sind*

- *Versuchsanalyse und Verfahren zum Entwurf von Mikrorechnersystemen zur Versuchsautomatisierung*
- *Mikrorechnergerechte Algorithmen zur Datenaufbereitung, Versuchssteuerung, insbesondere zur Realisierung optimaler Versuchspläne, und zur Versuchsauswertung*
- *Hardwareprobleme bei der ein- und ausgangsseitigen Versuchskopplung, der Informationsausgabe und bei Mehrrechnersystemen*
- *Erfahrungen beim Einsatz von Mikrorechnern zur Geräte- und Laborautomatisierung, zur Automatisierung der Experimente an Forschungsversuchsständen und Industrieanlagen*
- *Effektivität des Mikrorechnereinsatzes bei der Versuchsautomatisierung.*

*Hauptanliegen der Veranstaltung ist der Erfahrungsaustausch zwischen in- und ausländischen Entwicklern und Anwendern automatisierter Forschungs- und Versuchseinrichtungen.*

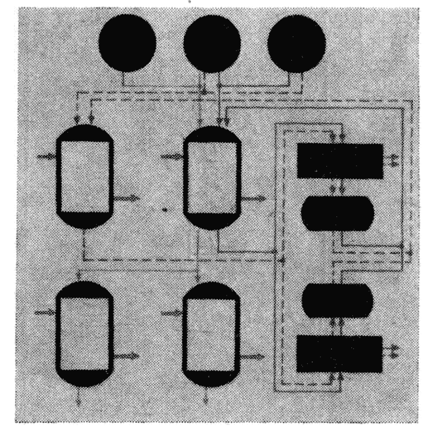
*Wir hoffen, daß diese erste Tagung Anregungen auch zur Weiterentwicklung des Gesamtgebiets geben wird und deshalb in einigen Jahren weitere Veranstaltungen dieser Art notwendig werden.*

*msr 8058 Prof. Dr. sc. techn. G. Brack, TH „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg, Sektion Verfahrenstechnik, WB Automatisierungstechnik*



**messen·steuern·regeln**

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift für die Automatisierungstechnik



Die Beiträge im Aufsatzteil dieses Heftes sind der Fachtagung AVEX '84 (siehe 2. Umschlagseite) gewidmet. Die weitere automatisierungstechnische Durchdringung der verfahrenstechnischen Industrie ist eine zentrale volkswirtschaftliche Aufgabe. Ein wichtiges Hilfsmittel sind dabei automatisierte Forschungs- und Versuchseinrichtungen. Dabei sind Probleme der Stoffwandlung, -trennung, -verarbeitung und -charakterisierung zu berücksichtigen.
Einen Eindruck vom komplexen Charakter verfahrenstechnischer Prozesse und Anlagen vermittelt uns das Titelbild.

Titelgrafik: *G. Schwesinger*

Herausgeber:

Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in der KDT





27. Jahrgang
Mai 1984

VEB
VERLAG TECHNIK

## AUFSÄTZE

ISSN 0026-0347

*F. Sokollik; G. Brack*[1])

# Hierarchische Steuerungen zur operativen Lenkung Großer Systeme

## 0. Einleitung

In den letzten zehn Jahren wurde die Theorie der hierarchischen Steuerungen stark ausgebaut. Die ersten Anwendungen beinhalteten oft eine relativ künstliche Dekomposition von Systemen, die im Prinzip auch global steuerbar gewesen wären. Ziel war dabei eine automatische Lösung eines Optimierungsproblems. Nach Meinung der Verfasser sollte die Theorie hierarchischer Steuerungen zunehmend auf die Steuerung ganzer Werke angewendet werden. Hierbei existieren bereits hierarchische Steuerungs-, d. h. Leitungsstrukturen, und man kann sicher sein, daß die Systeme in zumindest zulässiger Weise dekomponiert sind. Ein wichtiger Umstand, der eine Anpassung der Steuerungstheorie erfordert, ist das Wirken des Menschen als Entscheidungsträger in solchen Systemen. Auf den oberen Ebenen eines Werks existiert immer eine Steuerung (Leitung) durch den Menschen, der seine Steuerungsbefehle wiederum an Menschen auf der nachgeordneten Hierarchieebene übergibt. Im Beitrag sollen die Einordnung einer der wichtigsten Steuerungsaufgaben eines Werks, die operative Lenkung, in das Gebiet der hierarchischen Steuerungen vorgenommen und eine spezielle Aufgabe gelöst werden.

## 1. Das globale Steuerungsproblem [1] und [2]

Das globale Problem der Steuerung eines Werks ist ein dynamisches Optimierungsproblem.
Das Systemmodell sei

$$\boldsymbol{m}(k+1, i) = \boldsymbol{f}(\boldsymbol{m}(k, i), \boldsymbol{u}(k, i), \boldsymbol{z}(k, i)) \,. \tag{1}$$

$\boldsymbol{m}(k, i)$ Prozeßzustandsvektor (im allgemeinen Tank- oder Lagerinhalte) im Zeitpunkt $k$ im $i$-ten örtlichen Gebiet
$\boldsymbol{u}$ Steuervektor (Mengen der zu produzierenden/verbrauchenden Energien und Produkte)
$\boldsymbol{z}$ Störvektor

Die Existenz der Störgrößen $\boldsymbol{z}$ ist es, die eine ständige Steuerung $\boldsymbol{u}$ dergestalt notwendig machen, daß ein globales Ziel $G$ des Werks befriedigt (maximiert) wird:

$$G = G(\boldsymbol{m}(k, i), \boldsymbol{u}(k, i)) \,. \tag{2}$$

Die Bestimmung der Steuerung $\boldsymbol{u}$ zum Erreichen des Maximums von $G$ setzt eine Vorhersage der Störungen $\hat{\boldsymbol{z}}$ voraus. Dies ist nur mit unterschiedlichen Detailliertheitsgraden für bestimmte Zeithorizonte möglich.
Langzeitvorhersagen liefern die Basis für die Bestimmung einer Solltrajektorie $\boldsymbol{m}_s[t_0, t_L]$ für den Perspektivzeitraum (größer als ein Jahr). Dies ist eine Aufgabe für die Perspektivplanung.
Die Bestimmung der Steuerung $\boldsymbol{u}[t_0, t_y]$ auf der Basis von Vorhersagen $\hat{\boldsymbol{z}}[t_0, t_y]$ mit dem Zeithorizont $t_y < 1$ Jahr ist Aufgabe der operativen Lenkung, die im folgenden näher untersucht werden soll.

## 2. Entscheidungsstrukturen der operativen Lenkung [2]

Die Berechnung der Solltrajektorie $\boldsymbol{m}_s[t_0, t_y]$ ist stark abhängig von der Vorhersage $\hat{\boldsymbol{z}}$ der Störgrößen. Diese Vorhersage ist in

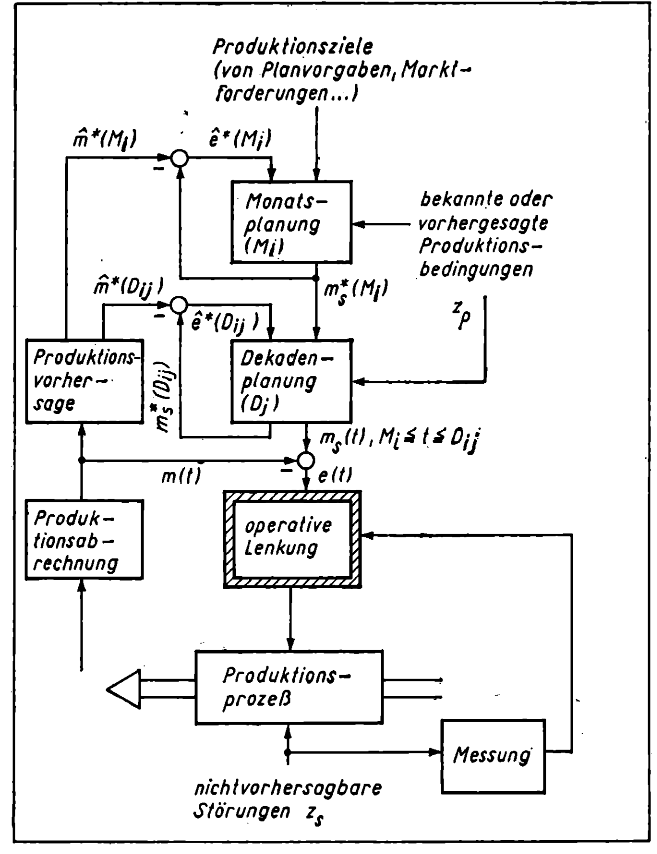



**Bild 1. Zeitdiskret/kontinuierliche Planungs/Lenkungsstrukturen zur Erfüllung der Produktionsziele**
$\boldsymbol{m}$ kontinuierliche Werte; $\boldsymbol{m}^*$ zeitdiskrete Werte; $\hat{\boldsymbol{m}}$ Schätzungen, $\boldsymbol{m}_s$ Sollwerte

$[t_0, t_y]$ nur für die Erwartungswerte der Störungen $\bar{\boldsymbol{z}}_p$ möglich, denen man deterministisches Verhalten unterstellen kann („typischer" Februar, September ...). Diesen Erwartungswerten sind Störungen $\boldsymbol{z}_s$ überlagert, die nicht vorhersagbar sind. Diese Störgrößencharakteristika ($\boldsymbol{z}_p$, $\boldsymbol{z}_s$) führen zu der im Bild 1 gezeigten Entscheidungsstruktur für die Lösung der Aufgaben der operativen Lenkung.
Die Solltrajektorie $\boldsymbol{m}_s$ für $[t_0, t_y]$ wird aus $\boldsymbol{z}_p$ unter Berücksichtigung des globalen Werkszieles $G$ berechnet. $\boldsymbol{m}_s$ wird in Form diskreter Werte $\boldsymbol{m}_s^*(M_i)$ für die Enden der einzelnen Monate $M_i$ notiert (Ergebnis der Monatsplanung) sowie für die jeweils gerade bevorstehende Dekade $D_{ij}$ als kontinuierliche Solltrajektorie $\boldsymbol{m}_s(t)$.
Die Steuerung des Produktionsprozesses durch das Anlagen-Leitungspersonal geschieht im geschlossenen Kreis in Abhängigkeit von der Differenz $\boldsymbol{e}$ zwischen Soll- und realer Trajektorie. Bei großen Differenzen muß durch eine Prädiktion von $\hat{\boldsymbol{m}}^*$ (Produktionsvorhersage) die Erfüllbarkeit der diskreten Sollpunkte $\boldsymbol{m}_s^*$ abgeschätzt werden. Wird Nichterfüllbarkeit prognostiziert, dann müssen die Ergebnisse der Dekaden- oder sogar Monatsplanung korrigiert werden.
Die bisher vorgestellte Entscheidungsstruktur resultiert sowohl aus der Signal- wie auch aus der Prozeßdynamik. Ein weiterer wichtiger Aspekt verlangt eine zusätzliche Strukturierung: Ein großes Werk ist örtlich weit verteilt und besteht aus relativ selbständigen technologischen Einheiten. Für bestimmte Aggregationen dieser Einheiten (Teilsysteme $TS$) sind eigene Teilziele formulierbar. Das globale Werksziel $G$ kann aus diesen Teilzielen zusammengesetzt werden. Eine globale (zentrale) Steuerung aller Prozeßeinheiten oder $TS$ ist unmöglich (Umfang der

---

[1]) Dr. sc. techn. *Frank Sokollik* (34) studierte von 1968 bis 1972 an der TH Ilmenau Technische Kybernetik. 1972 bis 1983 wissenschaftlicher Assistent bzw. Oberassistent an der TH „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg. 1976 Promotion A, 1981 Promotion B. 1981 bis 1983 Delegierung zum VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht". Gegenwärtig im VE Wissenschaftlich-technischen Betrieb Keramik Meißen, Direktionsbereich Langewiesen, als Abteilungsleiter für Steuerungstechnik tätig.

Prof. Dr. sc. techn. *Georg Brack* (53) erlernte den Beruf eines Werkzeugmachers. 1951 bis 1956 Studium an der Fakultät Elektrotechnik (Fachrichtung Schwachstromtechnik) der TH Dresden. 1956 bis 1961 Assistent am Institut für Regelungstechnik der TH Dresden. 1961 Promotion A. 1961 bis 1964 Tätigkeit am Institut für Regelungstechnik Berlin (IfR). Seit 1964 Dozent an der TH „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg. 1968 Berufung zum o. Professor für Automatisierungstechnik an die gleiche Hochschule. 1976 Promotion B. Jetzt Leiter des Wissenschaftsbereichs Automatisierungstechnik an der Sektion Verfahrenstechnik der TH „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg.

notwendigen Informationen und Steuerungsmodelle!). Somit erhält jedes *TS* seine eigene Steuerung; da die Teilsysteme miteinander verbunden sind, wird eine zentrale Koordinierung erforderlich. Steuerung der *TS* und globale Koordinierung können jedoch nicht automatisch, sondern nur durch menschliche Entscheidungsträger (Dispatcher) vorgenommen werden. Die Gründe hierfür sind:

(*i*) Fehlen exakter Steuerungsmodelle
(*ii*) mehrkriteriale Ziele
(*iii*) nicht modellierbare Einflüsse (z. B. soziale, ideologische Komponenten)
(*iv*) Entartungen des Steuerungsproblems zu einem nicht exakt lösbaren Problem (s. Abschn. 3.).

Die Kunst des Entwurfs solcher Systeme besteht darin, die Eigenschaften des Menschen und des Rechners jeweils optimal zu nutzen. Der Rechner sollte für große Datenmengen (exakte Daten) und modellierbare Entscheidungssituationen mit großem rechentechnischem Aufwand eingesetzt werden. Der Mensch kann die nicht modellierbaren Komponenten, nicht vorhergesehene Situationen und die Besonderheit solcher Systeme, die Einflußnahme auf Arbeitskollektive, berücksichtigen.

## 3. Ziele und Nebenbedingungen bei der operativen Lenkung [2] und [3]

Die Zielgröße $G$ des Werks (siehe (2)) sei sein Gewinn in $[t_0, t_y]$. Daneben sind bestimmte Nebenbedingungen (Beschränkungen) einzuhalten:

$$g(m(k, i), u(k, i)) \leqq 0 . \qquad (3)$$

Diese Nebenbedingungen sind sowohl technischer (Beschränkungen der Speicherzustände, Anlagenkapazitäten) als auch nichttechnischer Natur (Einhalten von Verträgen, Erfüllung der Planziele (Solltrajektorie)).
Durch das Wirken der Störgrößen $z(k, i)$ entstehen oft Situationen, in denen keine allen Nebenbedingungen genügende Lösung des Optimierungsproblems gefunden werden kann. Dadurch wird das Optimierungsproblem nicht streng lösbar. Hier soll von einem „entarteten Problem" gesprochen werden.
In solchen Fällen muß eine Verletzung von nichttechnischen Nebenbedingungen zugelassen werden. Dieses Problem ist nur vom Dispatcher zu lösen. Das heißt: nichttechnische Nebenbedingungen müssen als flexible, bewegliche Grenzen aufgefaßt werden, und das Steuerungsproblem beinhaltet neben dem Ziel (2) ebenso auch die Bewegung der Grenzen (3), so daß insgesamt ein befriedigendes Ziel erreicht wird. Eine der Möglichkeiten dazu ist es, die aktiven nichttechnischen Nebenbedingungen ebenfalls als Ziele aufzufassen. Damit erhält man ein mehrkriteriales Problem, das unter Einbeziehung des menschlichen Entscheidungsträgers zu lösen ist [8]. Ebenso ist die Anwendung einer Straffunktionsmethode nach folgender Überlegung denkbar:
Das Teilsystem $TS_i$ (Bild 2) ist mit anderen technischen Teilsystemen $TS_k$ durch streng einzuhaltende (harte) Wechselwirkungen verbunden (= technische Nebenbedingungen). Die Wechselwirkungen mit der nichttechnischen (ökonomischen) Umgebung sind nicht notwendigerweise streng. Diese weichen Nebenbedingungen könnte man mit einer Straffunktion berücksichtigen.
Eine dritte Möglichkeit ist eine unscharfe Formulierung von Zielen und Nebenbedingungen durch Zugehörigkeitsfunktionen, die linguistisch deutbar sind. Die optimale unscharfe Lösung ergibt sich aus dem Maximum des Durchschnitts der Zugehörigkeitsfunktionen von Zielen und Nebenbedingungen, die dadurch gleichberechtigt behandelt werden.

## 4. Lösungsmethoden für Probleme der operativen Lenkung

Die Bestimmung der Steuerungen bedeutet die Lösung eines dynamischen Optimierungsproblems. Nach Auffassung der Verfasser treten jedoch auf dem Niveau der operativen Lenkung kaum Entscheidungen im Sinne der „Entscheidungstheorie" auf, zumal der Mensch immer über technische Mittel verfügen wird, seine Ungewißheit über die Umwelt zu minimieren. Einige der verbleibenden Ungewißheiten resultieren aus der Wirkung von Störgrößen. Obwohl diese stochastisch sind, kann man das Problem nicht als eines der stochastischen Optimierung behandeln, da während der Standzeit der technologischen Anlagen die Anzahl gleichartiger Situationen zu gering ist, so daß die statistischen Informationen nicht gewinnbar sind. Die Lösung des Problems muß die Ungenauigkeiten der Vorhersage der Störgrößen berücksichtigen (Abschn. 3.).

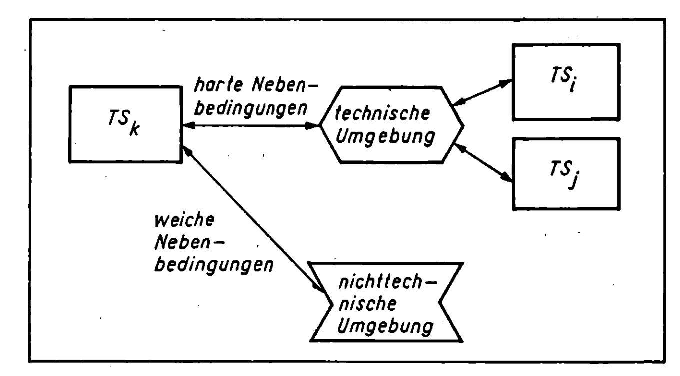



**Bild 2.** Teilsystem mit technischer und nichttechnischer Umgebung

Aufgrund der Vorhersage der deterministischen Erwartungswerte $z_p[t_0, t_y]$ der Störgrößen kann die Solltrajektorie $m_s[t_0, t_y]$ berechnet werden (Lösung z. B. mit der Preiskoordinationsmethode [5]).
Weiteres Ziel ist die Minimierung der Differenzen zwischen $m_s$ und der realen Trajektorie $m$, die sich unter Einfluß der nichtvorhersehbaren Störungen $z_s$ in $[t_0, t_g]$ mit $t_g < t_y$ ergibt.
Übersteigt diese Differenz eine gegebene Grenze (z. B. bei $t = T_E$) und zeigt die Vorhersage $\hat{m}^*$ an, daß $m_s^*$ nicht erreicht werden wird, dann muß die Solltrajektorie neu berechnet werden ($m_{s\,corr}(t)$, Bild 3), und zwar auf der Basis des erreichten Zustands und der aktualisierten Vorhersage $\hat{z}[T_E, t_y]$. Dies entspricht der aus der Literatur bekannten discrete feedback control-Methode [3] und [4]. Die Problemlösungsmethode könnte insgesamt als eine „zeitweilige Mehrschicht-Hierarchie" angesehen werden.

## 5. Koordinierung

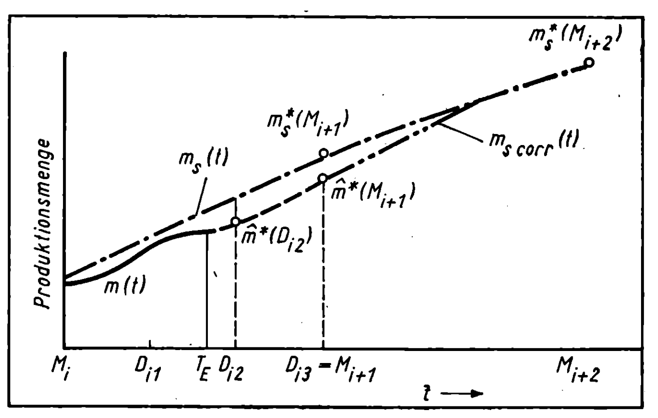
Wie oben erwähnt, werden die *TS* durch Dispatcher gesteuert, die ihrerseits vom zentralen Koordinator beeinflußt werden. Dabei sind folgende Bedingungen zu erfüllen:

(*i*) Die Lösung darf nicht etwa durch On-line-Iterationen gefunden werden, d. h., die vorgegebenen Koordinierungsvariablen haben einen bestimmten Gültigkeitszeitraum.
(*ii*) Die „Feasibility" der Lösungen, d. h. die Balance der Wechselwirkungen muß nicht im statischen Sinne gewährleistet sein, da die *TS* i. allg. durch große Speicherkapazitäten über bestimmte Zeiträume entkoppelt sind. Hieraus folgen Unterschiede in der Koordinierung für den dynamisch entkoppelten und den statisch gekoppelten Fall.
(*iii*) Die Koordinierung muß die Entscheidung der lokalen Dispatcher beeinflussen, auch in den entarteten Fällen.

Die Hauptvoraussetzungen zur Anwendung direkter Koordinierungsmethoden (feasible, primal [5]), der große Freiheitsgrad der Teilsysteme, ist zwar gegeben, aber die Berücksichtigung der nichttechnischen Nebenbedingungen der Teilsysteme bei der Wahl der Koordinierungsvariablen (Ausgänge der *TS*) ist problematisch. Unter großen Einschränkungen werden direkte Koordinierungsmethoden anwendbar sein, wenn die Optimierungsprobleme der TS genügend gutartig sind. Für entartete Probleme steigen die Schwierigkeiten.
Da die Entartung der Optimierungsprobleme gerade auf den Versuch des übergeordneten Koordinators zurückzuführen ist, die Wechselwirkungen mit der (ökonomischen) Umwelt zu



**Bild 3.** Zeitdiskret/kontinuierlicher Planungs-/Lenkungsprozeß



koordinieren (im Sinne von Ungleichungen), führt die Vorgabe der Wechselwirkungen zu unlösbaren Teilproblemen. Dieser Widerspruch kann von der direkten Koordinierungsmethode nicht beseitigt werden.
Die Preiskoordinierungsmethode (nonfeasible, dual [5]) ist für den Fall wohldefinierter Optimierungsprobleme der *TS* unter den bekannten Voraussetzungen anwendbar.
Bei entarteten Teilproblemen vermag die Preiskoordinierungsmethode die Unlösbarkeit des Problems nicht zu ändern, da sie ja durch die Wirkung der Lagrange-Multiplikatoren die Einhaltung aller Nebenbedingungen zu erzwingen sucht. Im Fall entarteter Probleme muß die Koordinierung vielmehr auf neuformulierte Optimierungsaufgaben der *TS* wirken; damit ist sie abhängig von der Art der Neuformulierung. Diese kann nach den drei weiteren oben beschriebenen Methoden erfolgen. Bei der Lösung des Polyoptimierungsproblems kann der Koordinator auf die Auswahl der zu berücksichtigenden Zielgrößen sowie auf die Auswahl der Lösung aus der Kompromißmenge Einfluß nehmen [8]. Bei der Straffunktionsmethode [5] nimmt er Einfluß auf die Wechselwirkungen mit der (ökonomischen) Umgebung, ohne auf der exakten Einhaltung der ursprünglichen Nebenbedingungen zu bestehen. Wird eine unscharfe Optimierung verwendet, dann kann der Koordinator sowohl die Form der Zugehörigkeitsfunktionen für Zielgrößen und Nebenbedingungen als auch die Auswahl der Lösung aus der Lösungsmenge beeinflussen. Bei allen drei Verfahren nimmt der Koordinator subjektiv Einfluß. Seine Koordinierung entspricht seinem inneren Modell und kann linguistisch ausgedrückt werden. Damit wird deutlich, daß hier eine nichtklassische Koordination vorliegt, die man „unscharfe Koordinierung" nennen könnte.
Bisher wurde angenommen, daß die *TS* optimale Lösungen anstreben. Ebenso kann es vorkommen, daß zulässige oder befriedigende Lösungen ausreichen. Für solche Fälle scheint nur die unscharfe Koordinierung der *TS*, die ihrerseits unscharfe Teilprobleme lösen, realistisch.
Insgesamt kann das Problem der operativen Lenkung als Kombination der „zeitweiligen Mehrschicht-Hierarchie" mit der „unscharfen dynamischen Koordinierung" gelöst werden. Es wird deutlich, daß dies nur durch die Wirkung des Menschen zu realisieren ist. Gerade aus diesem Grund ist eine umfangreiche Rechnerunterstützung der Dispatcher- und Koordinatorentscheidungen notwendig, um das globale Ziel bestmöglich zu befriedigen.

## 6. Ein spezielles Koordinierungsproblem: durch gemeinsame Ressourcen gekoppelte Teilsysteme

### 6.1. *Problemstellung*

Eines der wichtigsten Probleme der operativen Lenkung für sehr kleine Zeithorizonte (Stunde ... Tag) ist die operative Verteilung von gestörten Hilfsströmen $\dot{q}$ (Hilfsprodukte, Energien). In großen Werken bestehen ausgedehnte Versorgungsnetze, die Erzeuger und Verbraucher von Stoffen und Energien verbinden. Betrachtet werden speicherlose Versorgungsnetze (Elektroenergie, Dampf). Hieraus folgt die Zeitgleichheit von Erzeugung und Verbrauch. Bei wesentlichen Störungen der Erzeuger, die nicht unverzüglich durch Reserven kompensiert werden können, müssen die Verbraucher unterhalb ihrer geforderten Abnahmemengen versorgt werden. Somit entsteht das Problem der operativen Verteilung begrenzter Ressourcen [9]. Neben der Kopplung über das gemeinsame Versorgungsnetz sind die *TS* durch Produktströme gekoppelt. Die Erzeuger werden i. allg. von einem Energiedispatcher gesteuert. Die Verbraucher, zu *TS* zusammengefaßt, sind durch diesen zugeordneten Dispatcher zu steuern. Um das globale Werksziel zu erreichen, ist eine zentrale Koordinierung notwendig (Bild 4).

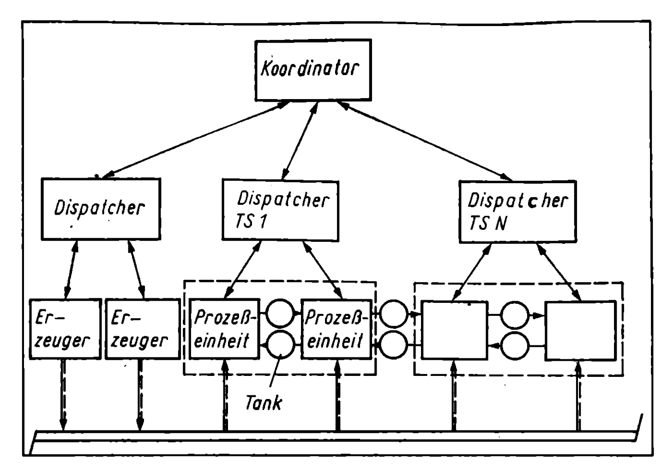



**Bild 4.** Koordinierungsstruktur

### 6.2. *Dynamische Entkopplung der Teilsysteme*

Die *TS* seien so aggregiert worden, daß ihre gegenseitigen Kopplungen nur über große Zwischentanks erfolgt. Dadurch sind die *TS* in einem Intervall $[0, T_{Ki}]$ entkoppelt. Die $T_{Ki}$ sind die Zeiten, in denen die Tanks weder leer- noch überlaufen. Natürlich sind die $T_{Ki}$ abhängig von den Anfangszuständen der Tanks sowie von der Steuerung aller durch den Tank $i$ gekoppelten *TS*. Damit beeinflussen sich die *TS* bezüglich der $T_{Ki}$ untereinander, allerdings nur indirekt und schwächer im Vergleich zur direkten Kopplung über das Versorgungsnetz. Die $T_{Ki}$ und damit das feste Ende der dynamischen Optimierungsprobleme der *TS* stehen exakt erst nach vollständiger Lösung des Gesamtproblems fest. Zur Dekomposition des Gesamtsystems müssen allerdings die $T_{Ki}$ auch ohne vollständige Lösung des Gesamtproblems ermittelt werden. Dies wird durch Anwendung der Spieltheorie erreicht: jeder Dispatcher geht von der für ihn ungünstigsten Handlungsweise aller übrigen (durch den Tank $i$ gekoppelten) Dispatcher aus. Damit wird das Problem lösbar. In $[0, T_{Ki}]$ muß nur noch die Kopplung durch das Versorgungsnetz betrachtet werden. Für $t \geqq T_{Ki}$ verschwindet der Entkopplungseffekt der Tanks. Es entsteht ein statisch gekoppeltes Problem, das durch die bekannten Methoden der hierarchischen Steuerung beschreibbar ist.

### 6.3. *Koordinierung dynamisch entkoppelter Teilsysteme*

Sind die TS entkoppelt, dann lassen sich unter Berücksichtigung der Bedingungen des gemeinsamen Versorgungsnetzes lokale Probleme formulieren und lösen. Jedes *TS* besteht wiederum aus Prozeßeinheiten und internen Speichertanks. Die Prozeßeinheiten haben generell Kapazitätsschranken, d. h.

$$\dot{m}_{i\,\min} \leqq \dot{m}_i \leqq \dot{m}_{i\,\max}\,. \tag{4}$$

Diese Schranken und die möglichen Tankstandsänderungen sollen zunächst ausgenutzt werden.

#### 6.3.1. Kompensierbare Störungen

Solange die Störung $\int \Delta\dot{q}\,dt$ ein bestimmtes Maß nicht übersteigt, sind ihre Folgen kompensierbar; die Steuerung kann so gewählt werden, daß kein endgültiger Zielgrößenverlust auftritt:

$$\oint \dot{G}\,dt = 0\,, \tag{5}$$

wobei $\oint$ die Integration über einen gesamten Zyklus (Störzeit $T_S$ und Aufholzeit $T_A$) bedeutet.
Die Grundgedanken sind dabei:

(*i*) Während des Zyklus werden die Produkteingangsströme in das *TS* konstant gehalten. Zu Störbeginn, $t = 0$, haben die Speicherzustände mittlere Werte.
(*ii*) Die Störung $\Delta\dot{q}$ in $[0, T_S]$ erzwingt Änderungen der Produktströme innerhalb des *TS*, bei denen einige der internen Speichertanks ihre Grenzen (Maxima oder Minima) erreichen.
(*iii*) Nach Störende werden in der Aufholperiode $[T_S, T_S + T_A]$ alle Speicher zu ihren Anfangszuständen gemäß (*i*) zurückgebracht. Dazu muß eine hinlänglich große Versorgungsmenge $q$ verfügbar sein.

(5) kann für einen bestimmten Maximalwert $\Delta q_i^*$ für jedes $TS_i$ erfüllt werden. Der Koordinator überprüft die Bedingung

$$\sum_{i=1}^{N} \Delta\dot{q}_i \geqq \Delta\dot{q}_{\text{ges}}\,. \tag{6}$$

$\Delta\dot{q}_{\text{ges}}$ ist das insgesamt in $[0, T_S]$ auftretende Versorgungsstromdefizit. Ist (6) erfüllbar, dann gilt (5) für das Gesamtsystem mit

$$G = \sum G_i\,. \tag{7}$$

Dieses Ergebnis kann innerhalb der $TS_i$ mit unterschiedlichen Strategien erzielt werden. Das bedeutet: der Koordinator hat Freiheitsgrade, die er nutzen kann, um zusätzlich zu $\Delta G = 0$ weitere Ziele zu verfolgen.

#### 6.3.2. Nicht vollständig kompensierbare Störungen

Läßt sich (6) nicht erfüllen, müssen einige *TS* in Bereiche gesteuert werden, in denen (5) nicht gilt. Daher müssen Verluste $\Delta G_i$ auftreten und die oben beschriebenen Freiheitsgrade für die Festlegung der Steuerstrategien verschwinden. Für jedes *TS*

ist ein dynamisches Optimierungsproblem zu lösen:

$$\min_{\Delta \dot{q}_{ij}} \oint \Delta \dot{G} \, dt \tag{8}$$

mit

$$\sum_j \Delta \dot{q}_{ij} = \Delta \dot{q}_i \Big|_{t \in [T_S, T_S + T_A]}^{t \in [0, T_S]} . \tag{9}$$

Die $\Delta \dot{q}_{ij}$ sind die Hilfsströme der $j$-ten Prozeßeinheit im $i$-ten $TS$.
Das Problem (8), (9) wird für Variable $\Delta \dot{q}_i$ in den Grenzen

$$\Delta \dot{q}_{il} \leqq \dot{q}_i \leqq \Delta \dot{q}_{i\,max} \tag{10}$$

gelöst, wobei

$$\int_0^{T_s} \Delta \dot{q}_{il} \, dt = \Delta q_i^* \quad \text{(s. Abschn. 6.3.1.)}$$

und $\Delta \dot{q}_{i\,max}$ maximal zulässige Reduzierung von $\dot{q}_i$ sind. Steuerungsergebnis ist die optimale Reaktion des $TS_i$ auf Reduzierung des Versorgungsstroms im Bereich $[\Delta \dot{q}_{il}, \Delta \dot{q}_{i\,max}]$ und $\Delta \dot{G}_i = \Delta \dot{G}_i(\Delta \dot{q}_i)$.
Der zentrale Koordinator löst

$$\min_{\Delta \dot{q}_i} \sum_{i=1}^{N} \oint \Delta \dot{G}_i \, dt \tag{11}$$

unter Berücksichtigung von (6). Hierbei hat er weniger Freiheitsgrade als im Fall 6.3.1.
Sehr einfache Lösungen erhält man, wenn Zielfunktionen und Prozeßgleichungen linear sind. Die Funktionen (10) werden dann stückweise linear, und die globale Lösung wird nahezu trivial [6] [7] und [9].

### 6.4. *Koordinierung bei statisch gekoppelten Teilsystemen*

Bei Fehlen entsprechender Speicherkapazitäten sind alle Prozeßeinheiten statisch gekoppelt. Dann bestehen keine Möglichkeiten einer Störungskompensation. Das Problem kann dekomponiert und durch eine direkte Koordinierungsmethode gelöst werden.
Die $TS_i$ werden durch statische Funktionen

$$\Delta \dot{G}_i = \Delta \dot{G}_i(\Delta \dot{q}_K); \qquad K = 1(1)\, N$$

beschrieben.


## Zusammenfassung

Die Theorie der hierarchischen Steuerung kann zur Lösung einiger Probleme der operativen Lenkung in Großen Produktionssystemen angewandt werden. Die Entscheidungsstrukturen der operativen Lenkung werden hergeleitet und Ziele sowie Nebenbedingungen diskutiert. Wichtig ist, daß die Optimierungsprobleme oft nicht streng lösbar sind, so daß Nebenbedingungen verletzt werden müssen. Neuformulierung der Probleme wird notwendig, das verlangt den Menschen als Entscheidungsträger.
Methoden zur Problemlösung und Koordinierung werden diskutiert. Die Lösung des Steuerungsproblems kann als eine Kombination einer „unscharfen dynamischen Koordinierung“ in einer „zeitweiligen Mehrschicht-Hierarchie“ dargestellt werden. Abschließend wird ein spezielles Koordinierungsproblem für Teilsysteme diskutiert, die durch gemeinsame beschränkte Ressourcen gekoppelt sind.


## Literatur


[1] *Brack, G.; Sokollik, F.:* Aufgaben der technischen Kybernetik bei der operativen Lenkung der Produktion. msr, Berlin 22 (1979) 11, S. 604–607.
[2] *Brack, G.; Sokollik, F.:* Die ingenieurtechnischen Aufgaben bei der operativen Lenkung der Produktion. Chemische Technik 34 (1982) 2, S. 61–63.
[3] *Findeisen, W.:* A view on decision and information structures for operational control in water resources systems. In: Studies in control methodology for water resources systems. Warsaw: Technical University 1979.
[4] *Nowosad, K. A.:* Investigation of discrete feedback control in water resources systems. In: Studies in control methodology for water resource systems. Warsaw: Technical University 1979.
[5] *Findeisen, W.; Bailey, F. N.; Brdys, M.; Malinowski, K.; Tatjewski, P.; Wozniak, A.:* Control and coordination in hierarchical systems. Chichester: J. Wiley & Sons (1980).
[6] *Sokollik, F.; Brack, G.:* Operative Lenkung von großen Versorgungsnetzen in Systemen mit wesentlichen Speichern. 27. Internationales wissenschaftliches Kolloquium, TH Ilmenau 1982, Reihe A1.
[7] *Sokollik, F.:* Verteilung begrenzter Ressourcen. msr, Berlin 24 (1981) 7, S. 387–392.
[8] *Takama, N.; Umeda, T.:* Multi-level, multi-objective optimization in process engineering. Chemical Engineering Science 36 (1981) 1, pp. 129–136.
[9] *Brack, G.:* A computer-aided system for large scale steam distribution in an industrial combinate. 3rd IFAC/IFORS-Symposium on LSST. Warsaw, July 1983.

msr 8041


*P. Metzing; L. Kiesewetter*[1])


# Steuerungsalgorithmen der operativen Lenkung für einen Anlagenkomplex zur Dieselkraftstoffherstellung

## 0. Einleitung

Der erhöhten Ausbeute an hellen Erdölprodukten (Benzin, Dieselkraftstoff) aus dem Rohöl kommt eine große Bedeutung bei der Sicherung eines wachsenden volkswirtschaftlichen Bedarfs zu. Ein wesentliches Zielprodukt von Erdölverarbeitungsanlagen ist Dieselkraftstoff (DK). Zur Gewinnung von DK wird nicht nur die rein destillative Stofftrennung der primären Erdölverarbeitung, sondern zunehmend auch die Spaltung höhersiedender (dunkler) Erdölfraktionen auf katalytischem Wege in den Anlagen der sekundären Erdölverarbeitung genutzt. Durch die große Vielfalt technologisch relevanter Möglichkeiten zur DK-Herstellung ergeben sich für die operative Steuerung recht unterschiedliche Steuerungsmöglichkeiten. Der operative Lenker (Dispatcher) einer solchen Anlage muß zur Lösung der Steuerungsaufgabe außer der Bestimmung der wesentlichen Prozeßgrößen für die Prozeßstufen und der Steuerung der Massenspeicher auch immer die Koordinierung im Sinne des Gesamtprozesses vornehmen. Zu seiner Beratung sollen im Dialogbetrieb arbeitende Simulationsprogramme zur Ermittlung effektiver Steueralgorithmen bereitgestellt werden. Am Beispiel des DK-Produktionsstranges wird der Entwurf derartiger Algorithmen für die operative Steuerung vorgestellt.

## 1. Analyse des Anlagenkomplexes „DK-Herstellung“

### 1.1. *Technologie*

Das Steuerungsobjekt ist der DK-Produktionsstrang eines Erdölverarbeitungskomplexes, bei dem ausgewählte Erdölfraktionen über miteinander verkoppelte Verfahrensstufen zu einem bestimmten Sortiment an Dieselkraftstoffen verarbeitet werden. Prinzipiell setzt sich ein solcher Strang aus den Verfahrensstufen Destillation, Spaltung, Raffination, Mischung und Lagerung zusammen (vgl. hierzu [1] [2] und [3]). Anhand des Bildes 1 seien einige Erläuterungen zur Technologie gegeben: Im Destillationsteil 1, der primären Erdölverarbeitung, werden die einzelnen Fraktionen für die nachfolgenden Spalt- und Raffinationsanlagen bereitgestellt. In der Raffination wird durch Hydrierung der Schwefelgehalt eines Teils des Roh-DK abgesenkt. In den Spaltanlagen werden höhersiedende Fraktionen aufgespalten und im nachfolgenden Destillationsteil 2 in Benzin-, DK- und Heizölkomponenten zerlegt. In der Mischanlage werden dann die einzelnen DK-Komponenten zu TGL-gerechtem DK vermischt. Außer dem Endtanklager steht noch eine hohe Anzahl von Tanks mit teilweise sehr großen Kapazitäten für die Speicherung fast aller Zwischenkomponenten zur Verfügung. Zwischen den Anlagen und den Zwischenspeichern bestehen vielfältige Rohrverbindungen, die eine wahlweise Benutzung dieser Massenspeicher und eine große Variabilität der Struktur des Gesamtsystems gestatten.

---


[1]) Doz. Dr. sc. techn. *Peter Metzing* (45) studierte von 1956 bis 1960 Physik an der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald und an der Karl-Marx-Universität Leipzig. Anschließend kurz im Halbleiterwerk Frankfurt/Oder tätig, danach bis 1969 Assistent bzw. Oberassistent am damaligen Institut für Automatisierung chemischer Prozesse der TH „Carl Schorlemmer“ Leuna-Merseburg. Von 1969 bis 1971 Beratertätigkeit an der Technologischen Fakultät der Universität Havanna/Republik Kuba. Seit 1971 Hochschuldozent für Steuerungstechnik im WB Automatisierungstechnik der Sektion Verfahrenstechnik der TH „Carl Schorlemmer“ Leuna-Merseburg. Zwischenzeitlich von 1979 bis 1980 Industrietätigkeit im VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht“ auf dem Gebiet der Prozeßsteuerung. 1968 Promotion A, 1979 Promotion B.

Dipl.-Ing. *Lutz Kiesewetter* (26) studierte von 1975 bis 1980 Systemverfahrenstechnik an der TH „Carl Schorlemmer“ Leuna-Merseburg. Seither dort wissenschaftlicher Assistent an der Sektion Verfahrenstechnik.

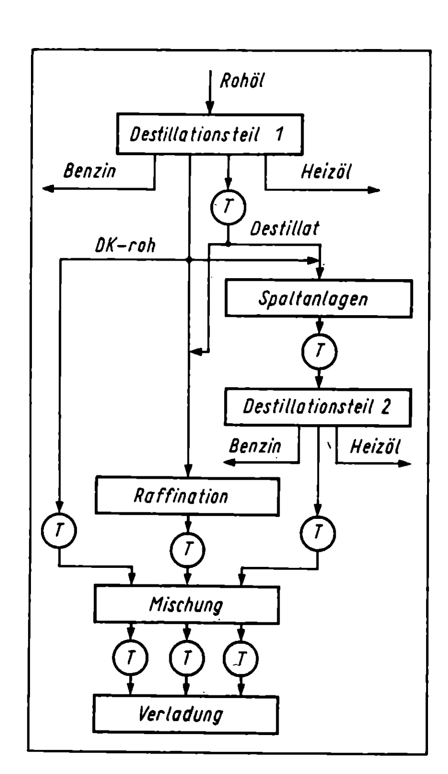



**Bild 1. Vereinfachtes technologisches Schema eines Anlagenkomplexes zur Dieselkraftstoffherstellung**

### 1.2. *Analyse der Störungen*

Eine Übersicht der auftretenden Störungsarten und möglicher Steuerungsstrategien bei der operativen Lenkung (OL) ist in [4] zusammengestellt. Wie noch gezeigt wird, besteht zwischen der Störsituation (Art der Störung, Betrag und voraussichtliche Dauer) und der anzuwendenden Steuerungsstrategie ein enger Zusammenhang. Für die drei am häufigsten auftretenden Störsituationen des DK-Stranges

- Störung 1: Ausfall oder Einschränkung der DK-Raffination
- Störung 2: Veränderung des DK-Absatzes
- Störung 3: Störung im Benzinstrang

sind Algorithmen zur Steuerung dieses Produktionskomplexes mit Hilfe von aktiven Entscheidungshilfen zu ermitteln. Bei der bisherigen Vorgehensweise wurden vom operativen Lenker beispielsweise zur Auswahl der Steuerungsstrategie heuristische Regeln entsprechend Tafel 1 verwendet.

**Tafel 1. Heuristische Regeln zur Auswahl der Steuerungsstrategie**

| Strategie | anzuwenden bei |
|---|---|
| A: Steuerung des Speichersystems | — kurzer Stördauer<br>— Durchsatzänderung von Anlagen |
| B: Steuerung der Teilsysteme | — Veränderung des Produktionssortiments<br>— Veränderung der geforderten Produktmengen |
| C: Steuerung des Gesamtsystems | — Ausfall von Anlagen<br>— langer Stördauer<br>— neuem Produktionssortiment |

## 2. Zusammenhang von Störsituation und Optimierungsproblem

Zunächst müssen meist die verbal und oft unscharf formulierten Zielstellungen bzw. Steuerungsaufgaben in ein mathematisches, rechentechnisch lösbares Problem umgesetzt werden. Diese Aufgabenformulierung ist äußerst schwierig und wird dadurch erschwert, daß bei Optimierungsproblemen OP in der Regel mehrere, sich mit der Störsituation ZS zeitlich verändernde Ziele und Vorgaben berücksichtigt werden müssen. Daraus folgt, daß sowohl Zielfunktion und mathematisches Modell als auch Restriktionen in ihrer Gesamtheit nicht als konstant angenommen werden können, sondern sich entsprechend einer neuen Störsituation $ZS^{Neu}$ auch ein anderes Optimierungsproblem $OP^{Neu}$ ergeben kann.

$$\left.\begin{array}{l}\{ZS\} \xrightarrow[\text{formulierung}]{\text{Aufgaben-}} \{OP\} \xrightarrow{\text{Lösung}} \boldsymbol{u}^{opt} \\ \{ZS^{Neu}\} \longrightarrow \{OP^{Neu}\} \longrightarrow \boldsymbol{u}'^{opt}\,.\end{array}\right\} \quad (1)$$

Die Steuervektoren $\boldsymbol{u}^{opt}$ und $\boldsymbol{u}'^{opt}$ können unterschiedliche Elemente enthalten.

Die entscheidende und allgemeinste Zielgröße ist der volkswirtschaftliche Gewinn $G^P$ im Planungszeitraum $\Delta t$ mit $t \in [t_0, t_{Plan}]$ [5] und [6]:

$$G^P(\{ZS\}) = \int_{t_0}^{t_{Plan}} G[\boldsymbol{z}(t), \boldsymbol{u}(t), \boldsymbol{y}(t)]\, dt\,. \quad (2)$$

$G$ spezifischer Gewinn; $\boldsymbol{z}(t)$ Störgrößenvektor; $\boldsymbol{y}(t)$ Vektor der Ausgangsgrößen

Preisänderungen, andere Zielsetzungen, neue Prioritäten und Bewertungen haben zur Folge, daß die Gewinnzielfunktion sich mit der Störsituation {ZS} ändern kann. Als Ziele der einzelnen Verfahrensstufen des DK-Stranges (vgl. Bild 1) werden gefordert:

- Destillation: möglichst hohe Ausbeute an hellen Produkten
- Spaltanlagen: möglichst große Spaltrate
- Raffination: möglichst große Katalysatorlebensdauer
- Mischung: kostenminimale, termin- und sortengerechte DK-Herstellung.

Die Zurückführung dieser sehr unterschiedlichen Zielstellungen jeweils auf eine Form analog (2) ist wegen der alle ökonomischen Gesichtspunkte umfassenden Gewinnzielfunktion angebracht, erfordert aber zusätzlichen Bewertungs- und Modellierungsaufwand mit oft notwendigen Idealisierungen und Kompromissen.

Die Nebenbedingungen in Gleichungsform beschreiben das Produktionssystem. Sie sind mathematische Modelle der Teilsysteme (im wesentlichen Bilanz- und Qualitätsbeziehungen) und deren Kopplungen. Die Qualitätsbeziehungen müssen ständig einer Adaption unterworfen werden, die Bilanzbeziehungen sind in der Regel unveränderlich. Die stofflichen Verbindungen der einzelnen Anlagen stellen durch Stör- und Steuereingriffe veränderbare Größen dar, d. h., für die Koppelmatrizen $\boldsymbol{N}_{ij}$ der Teilsysteme (vgl. [4]) gilt

$$\boldsymbol{N}_{ij}(\{ZS\}, \boldsymbol{u})\,. \quad (3)$$

Nebenbedingungen in Ungleichungsform sind technisch-technologisch bedingte Beschränkungen für die Prozeßgrößen $x_i$, die im wesentlichen unveränderlich sind. Des öfteren sind aber durch Störungen hervorgerufene Veränderungen ihrer oberen und unteren Grenzwerte nötig

$$x_i^u(\{ZS\}) \leqq x_i \leqq x_i^o(\{ZS\})\,. \quad (4)$$

Damit verändern sich die zulässigen Bereiche und auch das zulässige Suchgebiet der Steuergrößen.

Zu diesen Nebenbedingungen kommen im Gegensatz zu Aufgaben der optimalen Prozeßsteuerung zusätzlich noch Bedingungen wie Rohstoff- und Energiekontingente und Planvorgaben für die Warenproduktion (Sortiment, Termine) hinzu, die sich aus der Spezifik der bei der OL zu lösenden Aufgaben ergeben:

- Kontingent für Rohstoff $M_i$: $\int_{\Delta t} \dot{m}_i(t)\, dt \leqq M_i(\{ZS\})$ (5)
- Kontingent für Energieform $E_i$: $\int_{\Delta t} \dot{Q}_i(t)\, dt \leqq E_i(\{ZS\})$ (6)
- in der Zeit $\Delta t$ zu produzierendes Produkt $Y_i$:

$$\int_{\Delta t} \dot{y}_i(t)\, dt \lesseqqgtr Y_i(\{ZS\})\,. \quad (7)$$

Die Vorgaben $M_i$, $E_i$ und $Y_i$ sind Vorgaben höherer, übergeordneter Planungstätigkeit und bilden Eingangswerte für die OL. Da sie der Dynamik der Volkswirtschaft unterworfen sind, müssen auch sie als Funktionen der Störsituation {ZS} aufgefaßt werden. Sie bilden eine wesentliche Störungsart der Hierarchieebene OL. Die Gln. (2) bis (7) zeigen, daß immer eine der aktuellen Störsituation {ZS} angepaßte Optimierungsaufgabe aufgestellt werden muß. Die derart möglichen Optimierungsaufgaben werden im Dialog mit dem Rechner vom Dispatcher rechentechnisch formuliert und gelöst. Die Aufstellung nur eines einzigen Optimierungsproblems, das vielen Störsituationen gerecht wird, ist nicht oft anzutreffen.

## 3. Beschreibung des Dialogsystems zur Ermittlung der Steueralgorithmen für den DK-Strang

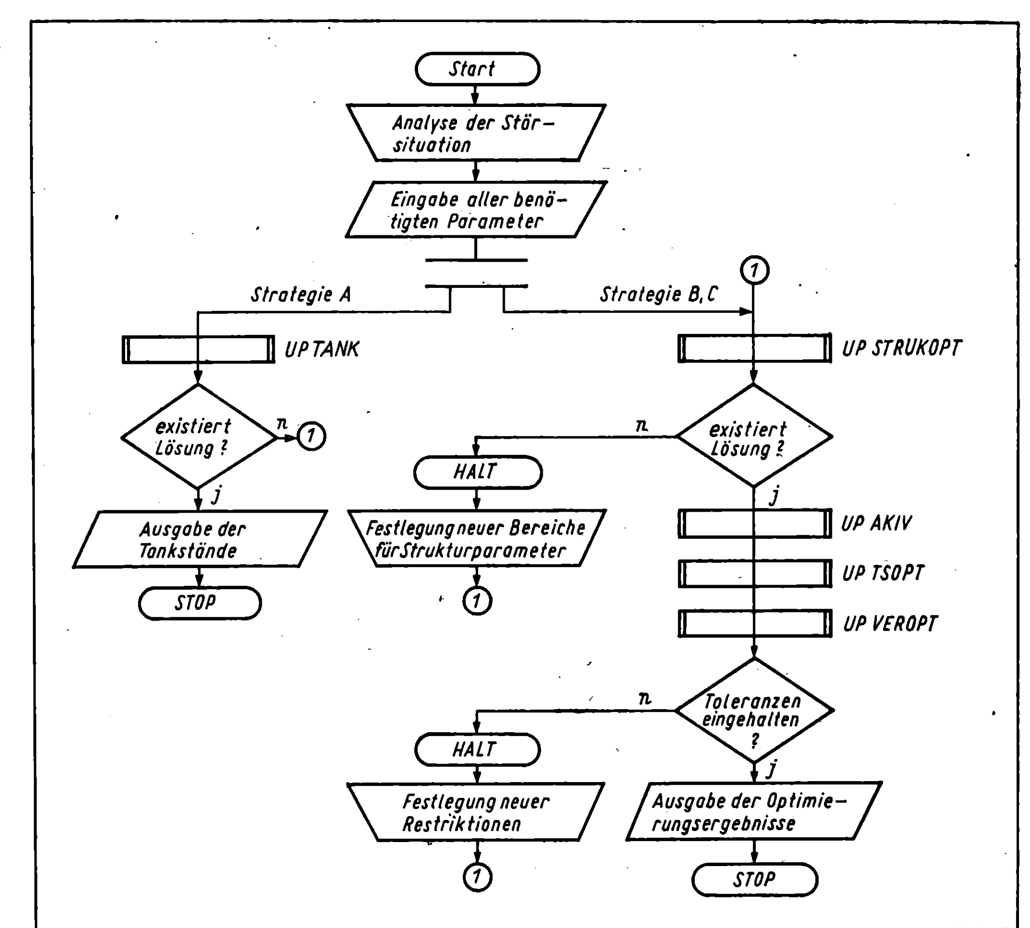
Im Bild 2 ist der Aufbau eines im Dialog arbeitenden Systems zur Bestimmung optimaler Prozeßsteuergrößen für den DK-Strang dargestellt. Hauptbestandteil des Dialogsystems bildet ein Programmpaket mit Programmteilen zur Optimierung des Gesamtsystems (UP STRUKOPT) sowie der Teilsysteme (UP TSOPT) und Berechnungsalgorithmen zur Aktivierung der einzelnen Optimierungsprogramme (UP AKTIV), zum Vergleich der erhaltenen Optimierungsergebnisse (UP VEROPT) und zur Simulation der Tanklagerbelegung (UP TANK).

Wenn geprüft werden soll, ob Strategie A zur Anwendung kommen kann, werden die entsprechenden Tanks mit dem Unterprogramm TANK überprüft:

$$m_i - m_i^o \leqq (\dot{m}_i^{ab} - \dot{m}_i^{zu})\, \Delta T^z \leqq m_i - m_i^u; \quad i = 1, \ldots, S\,. \quad (8)$$

$S$ Anzahl der Speicher; $\Delta T^z$ voraussichtliche Stördauer;

Bild 2. Aufbau des Dialogsystems zur Ermittlung der Steueralgorithmen für den DK-Strang




$\dot{m}_i^{ab}$, $\dot{m}_i^{zu}$ ab- bzw. zufließender Massenstrom; $m_i$ aktueller Füllstand; $m_i^u$, $m_i^o$ minimal bzw. maximal zulässiger Tankstand

Falls keine zulässige Lösung für (8) existiert, muß Strategie B oder C angewendet werden. Für die Optimierung des Gesamtsystems ergibt sich entsprechend (2)

$$\max_{\boldsymbol{u}(t)} \{G^P = \int_{\Delta T^z} [\sum_{i=1}^{N} P_i(y_i(t)) - \sum_{i=1}^{N} C_i(u_i(t)) - \sum_{i=1}^{N} K_i(t)] \, dt\} \quad (9)$$

$$\boldsymbol{u} \in \boldsymbol{U}^{GS}; \qquad \boldsymbol{y} \in \boldsymbol{Y} . \quad (10)$$

$P_i$ Erlös der Finalprodukte; $C_i$ Kosten für Energie und Rohstoffe; $\boldsymbol{U}^{GS}$ zulässiger Steuerbereich; $\boldsymbol{Y}$ Produktionssortiment; $N$ Anzahl der Teilsysteme; $K$ spezifische Kosten

Bei der Suche nach einer optimalen Struktur muß die Zielfunktion um den Kostenanteil $K_i$ erweitert werden. Diese spezifischen Kosten berücksichtigen die bei Betrieb der einzelnen Anlagen ständig anfallenden durchsatzunabhängigen Kosten. Wird $K_i(t)$ als Funktion der Zeit aufgefaßt, können so auch An- und Abfahrkosten berücksichtigt werden.

Für die sich anschließende Optimierung ausgewählter Teilsysteme wird das Ergebnis der Gewinnmaximierung des Gesamtsystems $\boldsymbol{u}_{opt}^{GS}$ vorgegeben. Die meist nichtlinearen Teilsystemoptimierungsprobleme enthalten alle wesentlichen Prozeßgrößen der Teilsysteme und haben eine Selbstkostenminimierung zum Ziel

$$\min_{\boldsymbol{u}_i(t)} \{SK_i = \int_{\Delta T^z} S_i(\boldsymbol{u}_i(t)) \, dt\} \quad (11)$$

$$\boldsymbol{u}_i \in \boldsymbol{U}_i^{TS} \quad \text{mit} \quad \boldsymbol{u}_i^{TS}(\boldsymbol{u}_{opt}^{GS}) . \quad (12)$$

$SK_i$ Selbstkosten; $S_i$ spezifische Kosten; $\boldsymbol{U}_i^{TS}$ zulässiger Steuerbereich des Teilsystems $i$; $\boldsymbol{u}_{opt}^{GS}$ optimaler Steuervektor für das Gesamtsystem

Bei Strategie B gilt die gleiche Abarbeitungsreihenfolge, wobei jedoch die Gesamtsystemoptimierung bei fester Struktur erfolgt. Die beschriebene Vorgehensweise (Bild 2) enthält heuristische Elemente, dem eventuellen Verlust an Optimalität steht die Möglichkeit der Implizierung der Dispatchererfahrungen gegenüber. Durch den Einbau von Druckbefehlen zur Ausgabe von Zwischenergebnissen an ausgewählten Programmpunkten wird dem Dispatcher eine benutzergeführte Dialogtechnik ermöglicht. Die gewünschten Änderungen in einzelnen Programmteilen können durch mnemotechnische Ausdrücke oder Aktionskodes realisiert werden. Eine Übersicht der möglichen Eingriffsmöglichkeiten des Dispatchers sind in Tafel 2 aufgeführt.

Tafel 2. Übersicht der Eingriffsmöglichkeiten des Dispatchers beim Dialogsystem zur operativen Lenkung eines DK-Stranges

| | Störung 1 | Störung 2 | Störung 3 |
| --- | --- | --- | --- |
| Eingaben vor Programmstart | voraussichtliche Stördauer, aktuelle Füllstände, Sortiment der geforderten Finalprodukte, Kontingente für Energie und Rohstoffe, Preis- und Bewertungsfaktoren | | |
| | Veränderung oder Nullsetzen des Eingangsstromes in die Raffination | | Grenzwerte für Durchsatz und Qualität der Benzinkomponenten |
| zusätzliche Festlegungen (vom Dispatcher zu treffen) | Nutzung zusätzlicher Speicherreserven, Änderung der Grenzen ausgewählter Durchsätze und Qualitäten | | |
| | | Kreislauffahrweise einzelner Anlagen | Nutzung von Reserveanlagen |
| vorrangig verwendete Steuerungsstrategie | C | A, B | B, C |

## Zusammenfassung


Mit Hilfe der vorgestellten Entscheidungshilfe können effektive Steueralgorithmen für einen Anlagenkomplex zur DK-Herstellung ermittelt werden. Durch den Aufbau eines Dialogsystems wird dem Dispatcher eine aktive Einflußnahme ermöglicht. Damit wird gewährleistet, daß bei Auftreten einer neuen Störsituation auch das Optimierungsproblem neu formuliert und gelöst wird, so daß Flexibilität und Anwendungsbreite erreicht werden.


## Literatur


[1] *Gebhardt, H.; Nette, W.; Onderka, E.:* Die Erdölverarbeitung im VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht". Chem. Techn. 31 (1979) 8, S. 390–394.

[2] Spravotschnik Neftjechimika, Tom 1 (Wörterbuch der Erdölchemie, Band 1). Leningrad: Verlag Chimija 1978.

[3] *Forth, H.:* Die Werksgruppe Ruhr der VEBA OEL. Oel 19 (1981) 7, S. 172 bis 176.

[4] *Metzing, P.; Kiesewetter, L.:* Zur Steuerung komplexer Produktionssysteme mit variabler Struktur. msr, Berlin 26 (1983) 7, S. 372–375.

[5] *Ostrowski, G. M.; Wolin, J. M.:* Methoden zur Optimierung komplexer verfahrenstechnischer Systeme. Berlin: Akademie-Verlag 1973.

[6] *Ginsburg, M. Ja.:* K woprosu optimisazii uprawlenija prozessami pererabotki nefti (Zu Fragen der Optimierung der Steuerung von Erdölverarbeitungsprozessen). Chim. i techn. topliw i masel (1963) 10, S. 42–48.


msr 7986

*H.-M. Hanisch; A. Helms*[1])

# Formalisierte Beschreibung der Aufgabenstellung zur Ablaufsteuerung von Chargenprozessen in Anlagen mit flexibler Struktur

## 0. Einleitung

Die Herstellung hochveredelter Produkte der Chemieindustrie erfolgt vorwiegend diskontinuierlich in sogenannten Mehrzweckanlagen. Zum Entwurf einer automatischen Steuerung dieser Prozesse ist eine intensive Kommunikation zwischen dem Technologen und dem Automatisierungstechniker notwendig. Hierbei müssen formale Darstellungsmittel, die die Spezifika der in Anlagen mit flexibler Struktur ablaufenden Prozesse berücksichtigen, die Basis bilden.

## 1. Verfahrenstechnische Anlagen mit flexibler Struktur

In Anlagen mit flexibler Struktur werden — zeitlich unterschiedlich — Rührkessel, die sowohl zur Durchführung der eigentlichen Reaktion als auch von Misch- und Trennprozessen dienen, mit Lagertanks für Rohstoffe und Produkte, Zentrifugen, Filtern, Destillationskolonnen u. a. so zusammengeschaltet, daß verschiedene Anlagenstrukturen gebildet werden. Die in einer solchen Anlage ablaufenden Chargenprozesse bestehen, wie alle Chargenprozesse, aus einer Folge von Verfahrensschritten (z. B. Chlorieren, Zudosieren einer Komponente, Filtrieren). Dabei läuft der Hauptprozeß (Vorlegen der Einsatzstoffe, Reaktion usw.) zeitlich parallel zu den Hilfsprozessen (z. B. Trocknen, Abfüllen) einer vorhergehenden Charge ab.
Jeder Chargenprozeß besteht aus einem oder mehreren sequentiellen Prozessen. Ein sequentieller (technologischer) Prozeß ist eine Folge von Verfahrensschritten, wobei sich der folgende Verfahrensschritt aus der Erfüllung einer Bedingung zur Beendigung des aktuellen Verfahrensschrittes ergibt und nicht andere Verfahrensschritte nebenläufig (d. h. kausal unabhängig) ablaufen.
Bild 1 zeigt die Teilung der Gesamtanlage (unter Nichtbeachtung der Nebenanlagen) in Teilsysteme. Die Gesamtanlage besteht aus mehreren Straßen. Innerhalb einer Straße werden mehrere, technologisch ähnliche Produkte hergestellt. Die Kopplungen der Straßen untereinander sind gering und bestehen in der gemeinsamen Nutzung von Nebenanlagen (Absorptionskolonnen, Kanalsystem usw.). Eine echte multivalente Apparatenutzung findet innerhalb einer Straße statt, die zu jedem Zeitpunkt in bestimmte Teilanlagen gegliedert ist. Als Teilanlage bezeichnet man ein Teilsystem der Straße, in dem genau ein sequentieller Prozeß abläuft. Multivalent genutzte Apparate können zu unterschiedlichen Zeitpunkten unterschiedlichen Teilanlagen angehören. Jede Teilanlage besteht aus mindestens einem, in der Regel mehreren verfahrenstechnischen Apparaten.

## 2. Aufgaben der Automatisierung von Chargenprozessen in Anlagen mit flexibler Struktur

In den letzten Jahren sind international bereits dezentrale Automatisierungssysteme für die Automatisierung von Chargenprozessen vorgestellt worden [1] und [2]. In der Literatur werden mannigfaltige Vorteile des automatischen Betriebes von Chargenprozessen genannt ([3] bis [6] u. a.). Oftmals wird im gleichen Atemzug aber auch die besondere Schwierigkeit der Automatisierung von Chargenprozessen betont, besonders solcher, die in Anlagen mit flexibler Struktur ablaufen ([7] und [8]).
Eine verfahrenstechnische Anlage mit flexibler Struktur ist ein derart komplexes technisches System, daß die darin ablaufenden Prozesse in geeignet beschreibbare Teile zerlegt werden müssen. Das führt zu einer funktionell hierarchischen Gliederung der Aufgaben wie auch der zur Beschreibung dieser Aufgaben notwendigen Modelle [9].

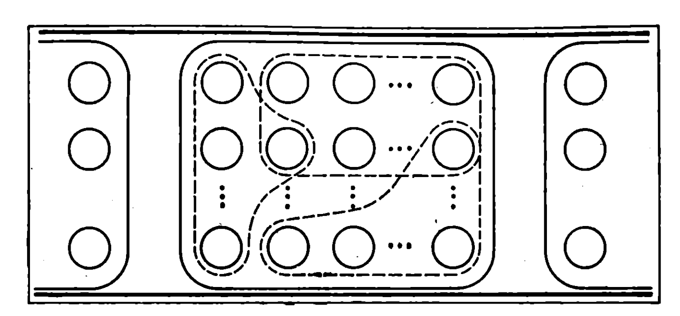


**Bild 1. Verfahrenstechnische Anlage**
○ Apparat; - - - Teilanlage; —— Straße; ▬▬ Gesamtanlage

Die Automatisierungsaufgaben können auf vier Ebenen aufgeteilt werden, hier als Prozeßebene, Prozeßablaufebene, Synchronisations- und Koordinierungsebene, Planungs- und Bilanzierungsebene bezeichnet [10]. Dem entsprechen verschiedene Beschreibungsformen. Hier soll vorrangig die Beschreibung des Ablaufes von Chargenprozessen, die zur Lösung von Aufgaben der Prozeßführung dient, betrachtet werden.

## 3. Darstellung des Ablaufes von Chargenprozessen

Die Formulierung des gewünschten Ablaufes von Chargenprozessen stellt einen der wesentlichen Teile der Aufgabenstellung für die automatische Steuerung dar. Während bei Fließprozessen das Sollverhalten im allgemeinen durch das Vorliegen eines stationären (optimalen) Arbeitspunktes und Angaben über technologisch zugelassene Toleranzgrenzen fixiert ist, besteht bei Chargenprozessen das Sollverhalten in einer bestimmten Abfolge von Verfahrensschritten, wobei während des Verfahrensschrittes gewisse Zeitfunktionen der für den Verfahrensschritt charakteristischen Prozeßgrößen vorgegeben sind.
Realisiert der ungestörte Fließprozeß ideal sein Sollverhalten, so sind Stelleingriffe im allgemeinen nicht nötig. Sie dienen nur zur Kompensation der Auswirkungen von Störungen. Bei Chargenprozessen hingegen sind Stelleingriffe auch im ungestörten idealen Fall notwendig, noch größere Probleme wirft der gestörte Chargenprozeß auf.
Zur Beschreibung des Sollverhaltens von Chargenprozessen sind hybride Darstellungsformen notwendig, nämlich Kombinationen von analogen (Beschreibung der Zeitfunktionen der vom Verfahrensschritt abhängigen Prozeßgrößen) und diskreten (Beschreibung der Abfolge von Verfahrensschritten). Letztgenannte Modellformen entstehen durch Festlegung diskreter Werte von analogen Prozeß- oder Produktgrößen [11] und werden nach [12] als „Prozeßzustandsvariable" bezeichnet. Der „Prozeßzustand" entsteht durch logische Verknüpfung von Prozeßzustandsvariablen [12]. Dabei wird hier der allgemeine Zustandsbegriff nach [13] verwendet.
Oftmals sind die das (optimale) Sollverhalten kennzeichnenden analogen Prozeßgrößenverläufe mangels hinreichend genauer Modelle nicht angebbar, so daß es genügen muß, die analogen Übergänge des Prozesses von einem Prozeßzustand zu einem anderen innerhalb gewisser Toleranzbereiche vorzugeben. Daher liegt der Schwerpunkt der Fixierung des gewünschten Prozeßablaufes auf der diskreten Modellierung.
Die Aufgaben der dazu notwendigen, der Anschaulichkeit halber möglichst grafischen Darstellungsverfahren sind in [14] genannt. Hier müssen allerdings einige Bedingungen beachtet werden, die aus den oben beschriebenen Spezifika von Anlagen mit flexibler Struktur resultieren. Beispielsweise ist es nicht sinnvoll, den Ablauf in einem Apparat darzustellen, da

- meist in jedem Verfahrensschritt mehrere Apparate verschiedenen Typs miteinander gekoppelt werden
- durch die multivalente Nutzung völlig verschiedene Abläufe in ein und demselben Apparat auftreten können.

Vielmehr erscheint es günstiger, den jeweiligen sequentiellen Prozeß, der in einer Teilanlage abläuft, die in der Regel aus unterschiedlichen Apparaten konfigurierbar ist, zu beschreiben. Der parallele Ablauf mehrerer sequentieller Prozesse muß geeignet darstellbar sein, Änderungen der einmal erstellten Unter-

[1]) Dipl.-Ing. *Hans-Michael Hanisch* (26) studierte von 1978 bis 1982 an der Technischen Hochschule „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg Verfahrenstechnik. Seit 1982 ist er an dieser Hochschule als wissenschaftlicher Assistent an der Sektion Verfahrenstechnik, Wissenschaftsbereich Automatisierungstechnik, tätig.

Prof. Dr. rer. nat. *Alfred Helms* (62) war von 1946 bis 1952 als Lehrer für Mathematik und Physik an allgemeinbildenden Schulen tätig. 1952 bis 1956 Physik-Studium an der Pädagogischen Hochschule Potsdam. Danach Assistent an dieser Hochschule. 1959 Promotion und Aufnahme der Tätigkeit als Oberassistent an der Technischen Hochschule „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg. 1964 Berufung zum Dozenten und 1970 zum außerordentlichen Professor für das Fach Regelungstechnik.

lagen sind sehr wahrscheinlich und zum Teil gravierend, die Darstellungsmittel müssen also Änderungen der Aufgabenstellung ohne Schwierigkeiten ermöglichen. Daher ist es notwendig, aus bekannten Darstellungsmitteln zur Aufgabenstellung für Binärsteuerungen [12] und [15] bis [17] das geeignetste auszuwählen und an die o. g. Bedingungen weitestgehend anzupassen.
Im folgenden soll gezeigt werden, wie mit den bekannten Darstellungsmitteln der Ablauf von Chargenprozessen beschrieben werden kann und wie sich die Spezifika von Chargenprozessen in Anlagen mit flexibler Struktur auf die Darstellungsmittel auswirken.

### *3.1. Stufe der Grobbeschreibung*

Der Ausgangspunkt für die Erarbeitung des Sollverhaltens eines Chargenprozesses sind im allgemeinen ein technologisches Schema und die zugehörige verbale Verfahrensbeschreibung. Diese ist meist nicht hinreichend detailliert, oft unvollständig und überdies noch während der Vorbereitung der Produktion häufigen Änderungen unterworfen. Erfahrungsgemäß ist es sehr schwer, auf dieser Basis in nur einem Schritt zu einer Darstellung des Prozesses als Folge exakt definierter Werte der Prozeßgrößen und Operationen zu gelangen. Daher sollte der Chargenprozeß in Verfahrensschritte zerlegt werden, mit denen der Technologe operieren kann. Die Anzahl der je Charge notwendigen Verfahrensschritte liegt im allgemeinen zwischen 10 und 30.
Die grafische Darstellung der Folge von Verfahrensschritten wird als Verfahrensablaufplan (VAP) bezeichnet. Ein VAP-Überblick, wie er im Bild 2a dargestellt ist, ist eine sehr grobe Beschreibung der Abfolge der einzelnen Verfahrensschritte. In Ergänzung dazu wird jedem Verfahrensschritt eine Detaildarstellung zugeordnet (Bild 2b), die bereits bekannte präzisere Informationen zur Aufgabenstellung enthält (VAP-Detaildarstellung).
Anwendungen haben gezeigt, daß der VAP zur Präzisierung des Sollverhaltens eines Chargenprozesses, besonders zur Festlegung der Werte der Prozeßgrößen am Ende eines jeden Verfahrensschrittes, eine sehr gute Diskussionsgrundlage ist. Der VAP-Überblick ist unabhängig von der den Prozeß realisierenden Anlagenstruktur, während die Detaildarstellung Apparatenummern, Meß- und Stelleinrichtungsbezeichnungen usw. enthält und demzufolge für Anlagen, in denen ein Prozeß in $n$ unterschiedlichen Teilanlagen ablaufen kann, $n$ mal zu erstellen ist. Der im Bild 2a gezeigte VAP ließe sich vereinfachen, da die gleichen Verfahrensschritte 08—11 in zwei verschiedenen Teilanlagen realisiert werden, demzufolge nur einmal notiert zu werden brauchten. Damit ginge aber eine sehr wesentliche Information verloren, nämlich, daß der Prozeß nur dann durchführbar ist, wenn dazu zwei Teilanlagen für die Verfahrensschritte 08—11 vorhanden sind [10]. Hier sollte im Interesse eines größtmöglichen Informationsgehaltes auf Verknappung (und damit Verkomplizierung) der Darstellung verzichtet werden.
Hinsichtlich der formalen Anforderungen an die Darstellungsweise ist der VAP ganz bewußt als recht frei zu handhabendes Darstellungsmittel konzipiert worden. Überprüfungen auf Vollständigkeit oder eventuelle Fehler in der Aufgabenstellung, etwa durch Verfahren der Automatentheorie, können auf dieser Stufe der Aufgabenpräzisierung nicht vorgenommen werden. Parallelitäten können erkannt werden, Überprüfungen auf eventuell auftretende Verklemmungen sind allerdings nicht möglich, genausowenig, wie die Bedingungen für die Koordination der parallel ablaufenden Prozesse formal exakt darstellbar sind. Die Erfüllung dieser Forderungen bleibt einer nachfolgenden Bearbeitungsstufe vorbehalten.

### *3.2. Stufe der schrittweisen Präzisierung*

#### 3.2.1. Sequentielle Prozesse

Um die im VAP dargestellte Beschreibung des Sollverhaltens eines zu steuernden Chargenprozesses zu präzisieren, erweist es sich als zweckmäßig, den Chargenprozeß in sequentielle Prozesse zu zerlegen. Dann ist eine Darstellung durch Ablaufgraphen bzw. -pläne [12] und [16] und die auf dieser Grundlage erfolgende formale Analyse der geforderten Abläufe möglich. Das entspricht etwa der Darstellung als Prozeßablaufplan nach [12].

*Allgemeine Ablaufstruktur des Verfahrensschrittes*

Jeder sequentielle Prozeß als Teil eines Chargenprozesses wird meist durch sehr viele Prozeßzustandsvariable und Steuergrößen (Operationsvariable) beschrieben. 50 Prozeßzustandsvariable und etwa die gleiche Anzahl Operationsvariable sind keine Seltenheit. Zur Vereinfachung der Darstellung werden zunächst nur die einzelnen Verfahrensschritte des sequentiellen Prozesses betrachtet, von denen sich zeigen läßt, daß sie eine relativ allgemeingültige Ablaufstruktur aufweisen. Der Darstellung im Ablaufgraphen des Verfahrensschrittes (Bild 3) liegt folgende Vorstellung zugrunde:
Im Verfahrensschritt laufen unter der Wirkung binärer und analoger Steuergrößen analoge Veränderungen aller für den Verfahrensschritt charakteristischen Zustandsgrößen, zusammengefaßt im Zustandsvektor, ab. Für einige ausgewählte Komponenten des Zustandsvektors können technologisch vorgegebene Werte (Grenzwerte oder Sollwerte und Toleranzbereiche) existie-

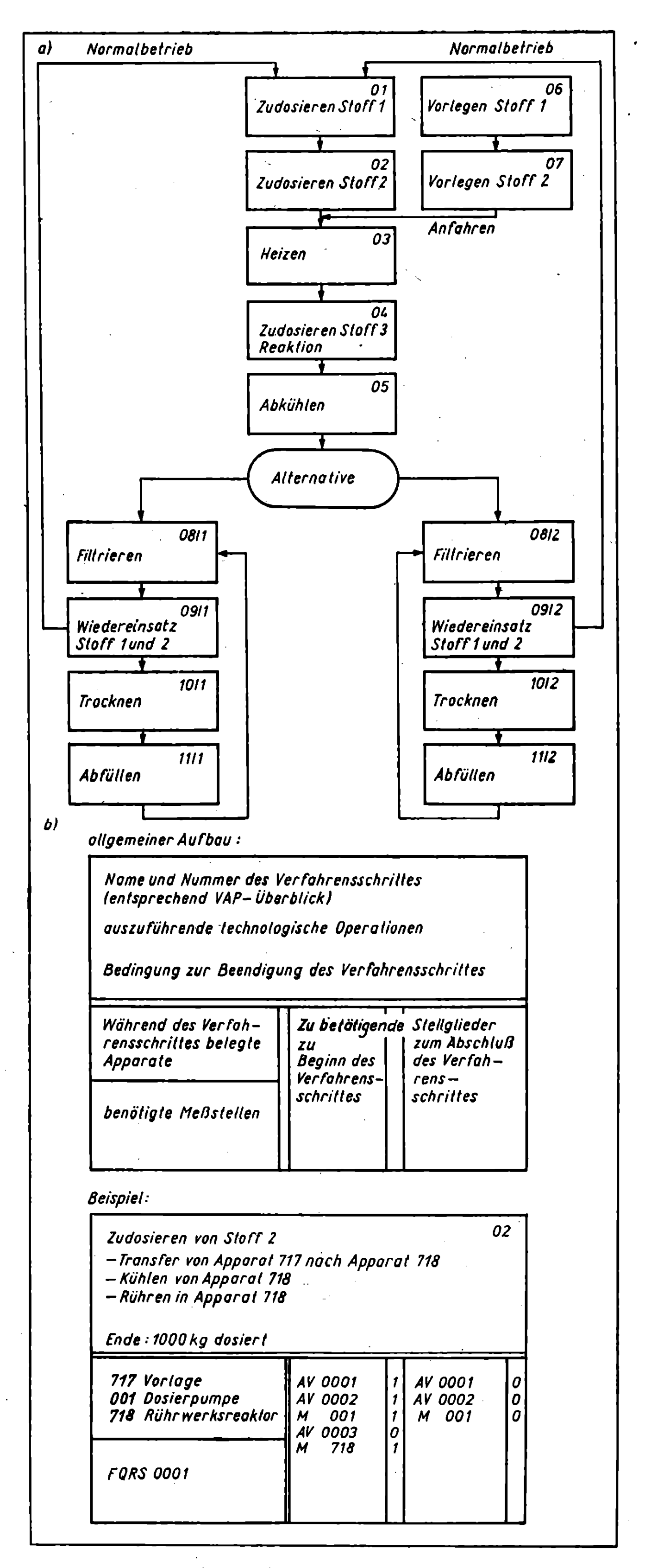



**Bild 2. Verfahrensablaufplan (VAP)**
a) Überblick; b) Detaildarstellung

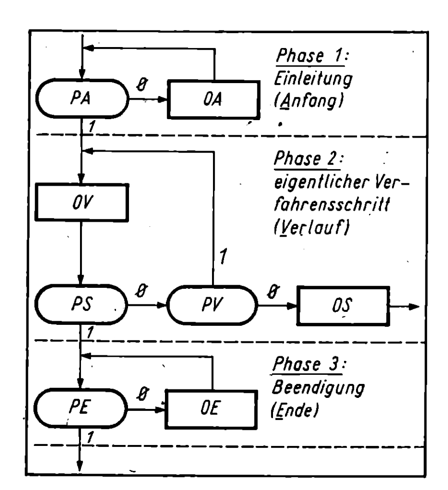



**Bild 3. Grundstruktur des Verfahrensschrittes**

ren. Damit der Verfahrensschritt das gewünschte Ziel ($PS = 1$) erreicht, müssen die geforderten Werte des Zustandsvektors angenommen werden. Das ist im Bild 3 durch die *1*-Ausgänge der *P*-Knoten (Langrund) symbolisiert. Die Operationen werden im Graphen durch Rechtecke dargestellt (*O*-Knoten), sie repräsentieren die zielgerichteten Veränderungen von Stellgrößen. Der Ablaufgraph des Verfahrensschrittes nach Bild 3 ist für den im Bild 2b gezeigten Verfahrensschritt wie folgt zu interpretieren:

*Zustand PA*:

Vor Beginn eines jeden Verfahrensschrittes müssen gewöhnlich vom Technologen geforderte Werte von Prozeßgrößen vorliegen. Für den im Bild 2b gezeigten Verfahrensschritt muß beispielsweise überprüft werden, ob Stoff *2* im Apparat *717* vorhanden ist, die Charge eine gewisse, zur erfolgreichen Durchführung des Verfahrensschrittes notwendige Temperatur nicht überschreitet usw. Sind diese Bedingungen erfüllt, wird der Knoten *PA* durchlaufen. Die Operation *OA* wird nur dann wirksam, wenn *PA* nicht erfüllt ist, und dient dazu, den Prozeß in *PA* zu überführen, sofern das innerhalb des Verfahrensschrittes möglich ist.

*Zustand PS*:

Dieser Zustand entspricht dem für diesen Verfahrensschritt formulierten Ziel. Nach Vorliegen von *PA* wird der Prozeß durch Auslösen der Operation *OV* veranlaßt, in den Zustand *PS* überzugehen. Für das Beispiel im Bild 2b würde *OV* in der Realisierung des Zuflusses von Stoff *2* und dem Kühlen von Apparat *718* bestehen. Aufgrund der Prozeßdynamik wird *PS* nicht sofort erreicht.

*Zustand PV*:

Während des Überganges des Prozesses von *PA* nach *PS* wird für ausgewählte Prozeßgrößen das Einhalten der in *PV* formulierten Bedingungen überwacht. Auf der Prozeßebene werden bei diesem Übergang auftretende Stabilisierungsaufgaben (z. B. Stabilisierung der Temperatur, der Dosiergeschwindigkeit) formuliert [10]. Es ist dennoch denkbar, daß der Prozeß während seines Überganges von *PA* nach *PS* die geforderten Bedingungen verletzt (0-Ausgang des *PV*-Knotens). In diesem Fall wird eine Operation *OS* ausgelöst, der Prozeß realisiert damit nicht mehr sein Sollverhalten. Auf Maßnahmen, die durch *OS* symbolisiert werden, soll hier nicht eingegangen werden.

*Zustand PE*:

Der Prozeß muß durchaus nach Erreichen des Zustandes *PS* nicht darin verharren (z. B. Füllstand bei der Zudosierung von Stoff *2*). Daher ist es notwendig, einen Endzustand (*PE*) zu formulieren, in den der Prozeß aus Zustand *PS* durch die Operation *OE* übergehen kann. *OE* würde im Beispiel nach Bild 2b im Stoppen der Zudosierung von Stoff *2* bestehen.

Phase *1* und *3* werden im Normalfall relativ schnell durchlaufen, eine wesentlich größere Zeit erfordert Phase *2*. Dagegen werden die meisten binären Stelleingriffe gerade in Phase *1* und *3* ausgelöst (z. B. Freigabe und Sperren von Rohrleitungsverbindungen, An- und Abfahren von Pumpen).

*Beschreibung des Sollverhaltens durch frei parametrierbare Module mit fester Struktur*

Die im Bild 3 dargestellte Grundstruktur eines Verfahrensschrittes wird für eine nun alle Einzelheiten beschreibende Darstellungsstufe in Strukturen zerlegt, die im Verfahrensschritt ablaufende Teilprozesse beschreiben. Sie sind technologisch interpretierbar und haben dieselbe Grobstruktur wie der Verfahrensschritt, unterscheiden sich aber in Einzelheiten voneinander. Durch das Ersetzen von formalen Parametern in den Ablaufstrukturen durch die konkreten Prozeßzustands- und Operationsvariablen, die in speziellen Listen erfaßt werden, können Rationalisierungseffekte erreicht werden, da die meisten während Phasen 1 und 3 auszuführenden Operationen und die zu überprüfenden Prozeßgrößen aufgrund der multivalenten Nutzung der Anlage für die Herstellung mehrerer Produkte gleich sind. Die Kopplungen zwischen den einzelnen Modulen sind sehr gering, so daß die Module einzeln formalen Tests, z. B. auf Vollständigkeit und Widerspruchsfreiheit [12], unterzogen werden können.

Durch die technologische Interpretierbarkeit wird die Arbeit des Technologen sehr erleichtert. Ähnliche Konzepte sind unter den Begriffen „Grundfunktionen", „Einheitsoperationen" u. ä. bekannt geworden [7] und [18] bis [20].

In der VAP-Detaildarstellung können alle zur Beschreibung eines Verfahrensschrittes benötigten Ablaufmodule durch ihre technologischen Namen aufgeführt werden. Eine Änderung der Herstellungsvorschrift für ein Produkt läßt sich mit dieser Methode sehr einfach in die formale Beschreibung umsetzen.

### 3.2.2. Parallele Prozesse

Die Notwendigkeit der Betrachtung paralleler Abläufe resultiert aus zwei Tatsachen:

1. Zur Herstellung eines Produktes laufen mehrere sequentielle Prozesse parallel zueinander ab.
2. Innerhalb einer Straße werden mehrere Produkte bei multivalenter Apparatenutzung gleichzeitig hergestellt.

Das bedingt auch zwei unterschiedliche Arten von Kopplungen der sequentiellen Prozesse untereinander.

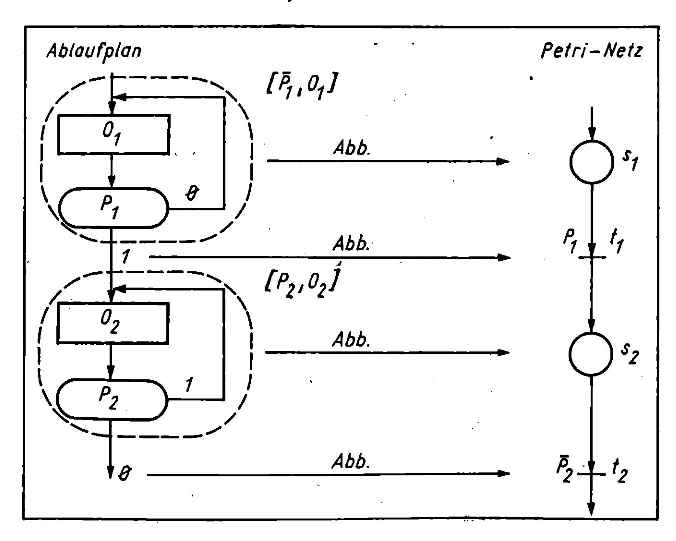
Die eine Art der Kopplungen, die aus 1. resultiert, besteht infolge der Stoff- und Energieflüsse von einer Teilanlage in andere. Sie erfolgen im Unterschied zu Kopplungen bei Fließprozessen nicht kontinuierlich, sondern diskontinuierlich, zu einem Zeitpunkt beginnend und eine gewisse Zeitspanne andauernd. Dazu ist es erforderlich, daß bei allen an einer solchen Kopplung beteiligten Prozessen zu einem Zeitpunkt definierte Werte von Prozeßgrößen vorliegen, die die Kopplung und damit den gleichzeitigen Übergang der Prozesse zu ihren jeweils folgenden Prozeßzuständen ermöglichen. Diese Koppelbedingungen werden im folgenden als „Anschlußbedingungen" bezeichnet [10]. Ihre Realisierung heißt Zustands-Synchronisation.

Die zweite Art der Kopplungen, die sich vorrangig aus 2. ableitet, besteht in der exklusiven Zuteilung von Apparaten, also einem typischen Ressourcenverteilungsproblem. Demzufolge werden diese Kopplungen als „Ausschlußbedingungen" bezeichnet [10]. Ihre Realisierung heißt Sperr-Synchronisation. Die Darstellung dieser Forderungen erfolgt in einer der sequentiellen Ablaufbeschreibung übergeordneten Modellierungsebene. Daher werden hier auch nur die Teile der sequentiellen Prozesse beschrieben, während derer Kopplungen mit anderen sequentiellen Prozessen auftreten.

In [10] werden Interpretationen angeführt, die die mathematische Modellierung der Kopplungsproblematik durch Petri-Netze gestatten. Die Petri-Netz-Interpretation zur Modellierung von Anschlußbedingungen ist im Bild 4 graphisch veranschaulicht.

**Bild 4. Interpretation des Petri-Netzes zur Darstellung der Anschlußbedingungen**

$s_i \in S$ Stellen des Petri-Netzes; $t_j \in T$ Transitionen des Petri-Netzes



Durch die Beschreibung von Parallelitäten im VAP-Überblick und die im Anschluß daran erfolgte genaue Analyse jedes sequentiellen Prozesses ist die Voraussetzung eines Überganges zur Kopplungsbeschreibung durch Petri-Netze in vollem Maße gegeben. Die Formulierung der Kopplungen durch Anschlußbedingungen bereitet keine größeren Schwierigkeiten.
Die Analyse der im Netz dargestellten Parallelitäten erweist sich dann als sehr nützlich, wenn die durchzuführenden Abläufe noch nicht technologisch realisiert worden sind oder wenn operative Eingriffe in die Abläufe aufgrund von Störungen erfolgen. Bedingt durch die große Komplexität von Anlagen mit flexibler Struktur können hier Verklemmungen und Unsicherheiten in der Prozeßführung auftreten, die vom Technologen ohne formale Unterstützung nur sehr schwer erkannt und behoben werden können. Für eine einfache Herstellungstechnologie ist eine solche Analyse auf der Basis des Petri-Netz-Modells ohne Unterstützung durch irgendwelche Testalgorithmen durchgeführt worden [10]. Für kompliziertere Probleme sind auf EDV-Anlagen implementierbare bzw. implementierte Algorithmen vorhanden [17] und [21].


**Zusammenfassung**

Die Formulierung des Sollverhaltens von Chargenprozessen, insbesondere solcher, die in Anlagen mit flexibler Struktur ablaufen, stellt hohe Anforderungen an die Kommunikation Technologe — Automatisierungstechniker. Die hier vorgestellten Beschreibungsformen dienen der Notierung der Aufgabenstellung für die Automatisierung durch den Technologen, werden also vorrangig vom Technologen benutzt. Sie sollen ihn befähigen und zwingen, das gewünschte Verhalten des zu steuernden Prozesses so exakt wie möglich zu formulieren und damit eine solide Basis für die weitere Arbeit zu schaffen. Dabei zeigt sich, daß der Technologe diese Darstellungsmittel nicht nur zur Kommunikation mit dem Automatisierungstechniker, sondern auch zum Entwurf und zur Analyse veränderter Technologien nutzbringend anwenden kann.


**Literatur**


[1] Für diskontinuierliche Regelungen. Messen und Prüfen 19 (1982) 3, S. 107 bis 108.
[2] *Früh, K. F.*: Automatisierung von Chargenprozessen mit PROVOX. Regelungstechnische Praxis 25 (1983) 7, S. 290–293.
[3] *Brodmann, M. T.; Smith, C. L.*: Computer Control of Batch Processes. Chemical Engineering 83 (1976) Sept., pp. 191–198.
[4] *Allen, P.*: Automation of batch reactors. Chemistry and Industry (1977) 8, pp. 300–305.
[5] *Helms, A.*, u. a.: Automatisierung einer Mehrproduktenanlage. Forschungsbericht, TH „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg, Sektion Verfahrenstechnik, 1981.
[6] *De Long, L. W.*: Applying Computer Controls to Batch Processes. Automation (1968) Sept., pp. 56–60.
[7] *Prins, L.; Stäheli, J.*: Zur Automatisierung von diskontinuierlichen Vielzweckanlagen in Chemiebetrieben. Regelungstechnische Praxis 20 (1978) 9, S. 256–261.
[8] *Dalla Casa, P.; Barbieri, R.; Albertini, E.*: Better batch processes control. Hydrocarbon Processing (1980) March, pp. 101–105.
[9] *Töpfer, H.; Kriesel, W.*: Automatisierungstechnik — Gegenwart und Zukunft. Band 200 der REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK. Berlin: VEB Verlag Technik 1982.
[10] *Hanisch, H.-M.*: Grundlagen zur koordinierten Steuerung paralleler Prozesse. Forschungsbericht, TH „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg, Sektion Verfahrenstechnik, Oktober 1983.
[11] *Brack, G.; Maertens, H.-D.*: Prozeßautomatisierung. Band 164 der REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK. Berlin: VEB Verlag Technik 1974.
[12] *Alder, J.*: Die binäre Prozeßanalyse als Grundlage zum Entwurf von Binärsteuerungen. Dissertation A. TH Leipzig 1982.
[13] *Brack, G.*: Einige Betrachtungen zum Zustandsbegriff. In: Über die Anwendung von Zustandsmodellen in der Systemtheorie und -technik. Mitteilung Nr. 8/1978 aus der Sektion Technische Verkehrskybernetik, Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List", Dresden.
[14] *Oberst, E.*: Zur Erarbeitung und Formulierung der Aufgabenstellung für technische Schaltsysteme. msr, Berlin 19 (1976) 6, S. 201–205.
[15] *Oberst, E.; Koegst, M.; Franke, G.; Haufe, J.*: Darstellung industrieller Steuerungen mit Hilfe von Steuergraphen. ZKI-Informationen (1977) 2.
[16] *Küllenberg, H.*: Verhaltensbeschreibung von Schaltsystemen mit Hilfe von Programmablaufgraphen. msr, Berlin 19 (1976) 6, S. 197–201.
[17] *Fensch, S.*: Ein Beitrag zur Beschreibung und Implementierung von parallelen Abläufen in Steuerungssystemen. Dissertation A, TH Karl-Marx-Stadt 1982.
[18] *Burton, P. I.*: Rechnergesteuerte sequentielle Abläufe. Regelungstechnische Praxis 19 (1977) 3, S. 77–81.
[19] *Uhlig, R. J.*: Anforderungen an die Mensch-Maschine-Kommunikation bei Chargenprozessen. Regelungstechnische Praxis 24 (1982) 7, S. 231–236.
[20] *Itahara, S.*: Direct digital control for batch processes. Chemical Engineering (1968) Nov., pp. 159–164.
[21] *Heltzig, H. F.; König, R.*: Zum Problem der Softwareentwicklung von Steuerungen auf der Basis von Petri-Netzwerken. Elektrie 34 (1980) 9, S. 476–479.


msr 8045


*H. Böhlert*[1])


# Erfahrungen des Aufbaus und der Nutzung einer Systemlösung zur Automatisierung von Experimenten im Maschinenbau

## 0. Einleitung

Auf vielen Fachgebieten sind Experimente ein wesentlicher Bestandteil der wissenschaftlichen Forschungstätigkeit. Die Qualität der verfügbaren Forschungsinstrumente hat dabei oftmals entscheidenden Einfluß sowohl auf die Ergebnisse als auch auf den notwendigen materiellen, zeitlichen und personellen Aufwand. Das Spektrum der rechentechnischen Forschungsinstrumente wird immer vielfältiger. Ohne eine derartige Unterstützung sind heutzutage teilweise experimentelle Zielstellungen gar nicht mehr realisierbar. Für den Experimentator besteht beim Einsatz rechentechnischer Ressourcen erstens das Problem, aus dem weitgefächerten Angebot die für seine Aufgabenstellung optimale Lösung auszuwählen und diese dann zweitens in möglichst kurzer Zeit funktionstüchtig zu erstellen.
An der Technischen Hochschule „Otto von Guericke" Magdeburg (THM) wurde vor etwa 10 Jahren unter dem Aspekt der Rationalisierung und Intensivierung der experimentellen Forschung entschieden, eine Systemlösung zur Automatisierung der Meßwerterfassung und Meßdatenverarbeitung aufzubauen, über die hier berichtet werden soll.

[1]) Dr. rer. nat. *Henning Böhlert* (46) erlernte den Beruf eines Rundfunk- und Fernsehmechanikers. 1957 bis 1960 Studium an der Ingenieurschule für Maschinenbau und Elektrotechnik Berlin-Lichtenberg (Fachrichtung Funkgerätebau). 1960 bis 1961 Entwicklungsingenieur im Werk für Fernmeldewesen Berlin. 1961 bis 1968 Entwicklungsingenieur im Rechenzentrum der Technischen Hochschule „Otto von Guericke" Magdeburg (THM). 1963 bis 1970 Fern- bzw. Sonderstudium der Mathematik an der THM. Seit 1968 Bereichsleiter für Technik und Entwicklung an der Sektion Rechentechnik und Datenverarbeitung der THM. 1979 Promotion auf dem Gebiet der automatischen Meßwerterfassung und -verarbeitung. Gegenwärtiges Arbeitsgebiet: rechnergestützte Experimentautomatisierung.

## 1. Konzeption einer Systemlösung zur rechentechnischen Unterstützung experimenteller Forschungsarbeiten

Bei der Formulierung der Konzeption [1] wurde von praktischen Erfahrungen ausgegangen, die über einige Jahre mit verschiedenen, teilweise sehr speziellen Lösungen zur automatisierten Meßwerterfassung und Off-line-Meßdatenverarbeitung an der THM gesammelt wurden. Aus der Analyse weiterführender Erfahrungen resultierte eine mehrfache Aktualisierung der ursprünglichen Fassung [2] und [3].
Grundsätze der Gestaltung der Systemlösung:
G1) Die Strecke von der Erfassung der Meßwerte bis zur Darstellung der Ergebnisse der Versuchsauswertung ist durchgängig in die Systemlösung einzubeziehen, da nur so wesentliche Rationalisierungseffekte, auch bei kleineren Experimenten, erzielt werden können. Dies bedeutet, daß die Lösung sowohl die Meßwerterfassung, Meßdatenübertragung, -aufbereitung, -speicherung und -auswertung als auch die Aufbereitung der Ergebnisse der Auswertung umfassen muß.
G2) Die Systemlösung muß sich sowohl auf Geräte für diskrete als auch stetige Informationsdarstellung, -speicherung und -verarbeitung, auf Algorithmen und Programme, die notwendigen Anleitungen und sonstigen Unterstützungen für Anwender als auch die organisatorischen Regelungen, die mit dem Einsatz dieser Hilfsmittel verbunden sind, erstrecken.
G3) Das der Systemlösung zugrunde liegende System ist als Ganzes nach dem Baukasten- bzw. Modularprinzip zu gestalten, um von vornherein einen Austausch von Geräten, Bausteinen und Programmen zu ermöglichen. Es muß ggf. auch einen Wechsel der Kopplung der Rechentechnik mit dem Versuchsobjekt — in Abhängigkeit von den Bedürfnissen der Anwender — zulassen und einen frühzeitigen Einsatz erster Ausbaustufen ermöglichen.

G4) Für neue Geräte und Programme muß das System offen sein. Es muß auch die zeitweilige bzw. ständige Komplettierung stationärer Technik durch mobile Elemente gestatten. Im Bedarfsfall muß der Anwender schnell eigene Programme schreiben und einfügen können.

G5) Die Geräte zur Meßwerterfassung vor Ort (in der Maschinenhalle bzw. im Labor) müssen leicht transportabel und leicht handhabbar sein.

G6) Das System muß eine Meßdatenauswertung sowohl im Stapel- als auch im Echtzeitverarbeitungsregime ermöglichen. Darüber hinaus sind Voraussetzungen für einen Dialog des Experimentators mit der Rechentechnik zu schaffen.

G7) Neben den Forderungen nach einer leistungsfähigen Erfassungs- und Übertragungstechnik sind hohe Anforderungen an das Rechnerpotential zu erfüllen. Dies kann nicht allein durch die Bereitstellung eines großen und schnellen Rechners geschehen. Die Bedarfskomplexe „Kommunikation mit der Rechentechnik", „Verfügbarkeit" und „Zuverlässigkeit", die individuellen Anforderungen der einzelnen Nutzer nach direktem Rechnerzugriff und die Vielfalt der zu lösenden Aufgaben kann nur ein hierarchisch strukturiertes Mehrrechnersystem abdecken, das es schrittweise aufzubauen gilt.

G8) Durch zentrale Verwaltung, Wartung und Ergänzung des Gerätesystems ist eine hohe Verfügbarkeit einerseits und eine Minimierung des Wartungsaufwandes andererseits anzustreben. Damit werden zugleich gute Voraussetzungen für eine befriedigende Auslastung geschaffen.

G9) Um dem Anwender bereits mit einem Minimum an allgemeinen Kenntnissen über die Rechentechnik und an speziellen Kenntnissen über das System seine Nutzung zu ermöglichen, ist zu fordern, daß es in hohem Maße nutzerfreundlich ist. Dies bedeutet, durch eine leicht verständliche Methodik ein Maximum an Unterstützung für die Vorbereitung und eine Wegleistung für die unmittelbare Anwendung zu geben.
Hohe Anforderungen sind nicht nur an die Gerätetechnik, sondern auch an die Systemunterlagen zu stellen, und zwar sowohl an die Speicherungs- und Auswertungsprogramme als auch an das (die) diese steuernde(n) Betriebssystem(e). Neben dieser Unterstützung des Anwenders sind Voraussetzungen zu schaffen, daß er im Bedarfsfalle zusätzlich noch einen Beratungsdienst konsultieren kann.

G10) Liegt eine Off-line-Kopplung vor, muß sich in der Regel eine kurzfristige Meßdatenverarbeitung der Erfassung anschließen, um die Kontinuität der Versuchsdurchführung zu unterstützen. Dies erfordert entsprechende organisatorische Regelungen im Rechenzentrum, dem die rechnerische Exekutive obliegt, vor allem dann, wenn ausschließlich Stapelverarbeitung praktiziert wird und der Auftraggeber in der Regel keinen direkten Zugriff zum Rechner hat.

## 2. Vorgehensweise zur Realisierung der Konzeption

Bezug nehmend auf die Analyse vorliegender Anforderungen und bereits realisierter Schritte zeichneten sich mehrere Etappen für den Aufbau der Systemlösung ab.

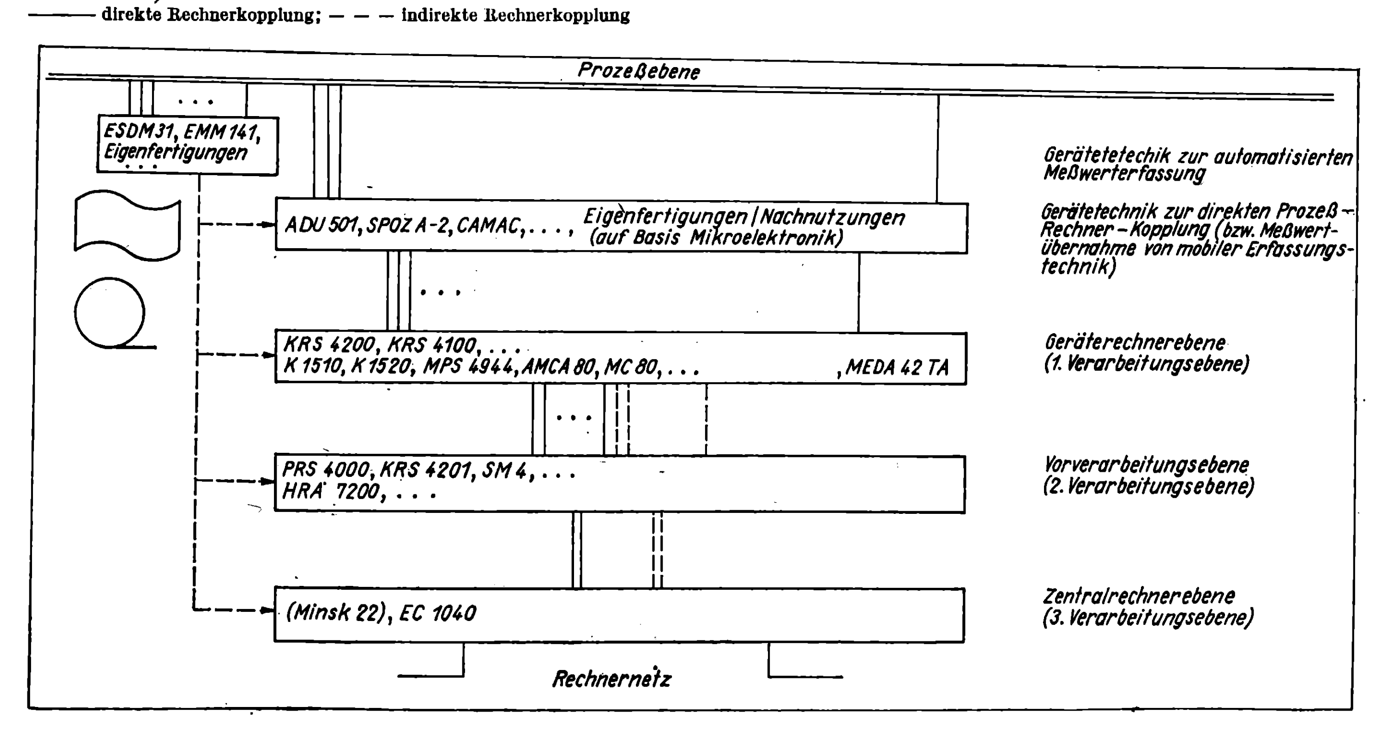
*1. Etappe:*
„Bereitstellung von Ressourcen zur automatisierten Meßwerterfassung und Off-line-Meßdatenverarbeitung"
Diese Etappe enthält folgende Charakteristika:

- Durchführung der Meßdatenverarbeitung ausschließlich in Off-line-Kopplung und Stapelverarbeitung (Einsatz der Rechner Minsk 22, PRS 4000, KRS 4201)
- Zentrale Anordnung der Meßdatenverarbeitungstechnik
- Vorrangig Einsatz lochbandorientierter Meßwerterfassungstechnik
- Einsatz von magnetbandorientierten Meßplätzen in ausgewählten (speziellen) Fällen
- Realisierung von Stapelfernverarbeitung in besonderen Fällen (Ferneingabe und Fernverarbeitung auf Magnetband gespeicherter Meßwerte)
- Inbetriebnahme des ESER-Rechners EC 1040 und seine Vorbereitung zur Wahrnehmung der Zentralrechnerfunktion innerhalb einer Dreiebenenhierarchie (Bild 1)
- Direktkopplung der Rechner PRS 4000 und KRS 4201 zum System PRS 4000/KRS 4201 zwecks Steigerung der Potenzen des zentralen Rechenkomplexes.

*2. Etappe:*
„Aufnahme der On-line-Meßdatenverarbeitung in begründeten Fällen (Rechenkomplex zentral angeordnet)"
Diese Etappe enthält folgende Charakteristika:

- Inbetriebnahme der nachfolgenden Direktkopplungen und Aufnahme des rechnergestützten Versuchsbetriebes mit den Systemen
  Kaltbandwalzanlage – Rechnersystem PRS 4000/KRS 4201
  Praktikumsversuch Prozeßrechentechnik – Rechnersystem PRS 4000/KRS 4201
  Dieselmotorenprüfstand – Rechnersystem PRS 4000/KRS 4201
- Bereitstellung von Systemunterlagen zur schnellen direkten Meßwertübernahme ($\geqq 10^4$ Werte/s)
- Inbetriebnahme einfacher Terminals vor Ort (fernaufgestellte Schreibmaschinen zur Kommunikation mit dem Rechnersystem PRS 4000/KRS 4201 in Verbindung mit dem Betrieb der vorstehend aufgeführten Versuchsanlagen)
- Durchführung von Untersuchungen und Realisierungen zur Off-line-Kopplung (Magnetbandaustausch) zwischen dem

**Bild 1.** Rechentechnik (Auszug) zur Unterstützung unter anderem der experimentellen Forschung an der Technischen Hochschule „Otto von Guericke" Magdeburg
——— direkte Rechnerkopplung; — — — indirekte Rechnerkopplung



Rechnersystem PRS 4000/KRS 4201 und dem System EC 1040
— Vorbereitung von Nah- und Fernzugriffsmöglichkeiten zum Zentralrechner (EC 1040) über Bildschirmterminals.

*3. Etappe:*

„Aufbau einer Geräterechnerebene"

— Die in zunehmendem Maße erhobene Forderung nach On-line-Meßdatenverarbeitung kann infolge
  . gleichzeitig notwendiger Bedienung mehrerer Versuchsobjekte
  . des Umfangs, der Komplexität und der Zeitdauer der zu unterstützenden Experimente
  . teilweise notwendiger kurzfristiger Aufnahme dieser Verarbeitungsform
  . nur in begrenztem Umfange vorhandener Datenübertragungswege

  nicht mehr bzw. nicht mehr effektiv von einem zentral angeordneten Rechenkomplex realisiert werden
— Zur Absicherung qualifizierter Gerätefunktionen werden von Geräteherstellern zunehmend Geräte mit integrierter Rechentechnik (Mikrorechentechnik) angeboten
— Die Entwicklung der Mikroelektronik bedingt im Vergleich zu den Investitionskosten der Versuchsobjekte vertretbare Aufwendungen für on-line-gekoppelte dezentrale Rechentechnik (Geräterechner, Prozeßterminals)
— Neben der Wahrnehmung von Meßwerterfassungs- und Meßdatenverarbeitungsfunktionen (Echtzeitbetrieb) werden Geräterechner auch zur Realisierung von Aufgaben der Versuchssteuerung benötigt
— Zur Minimierung des Aufwandes an Übertragungstechnik, zur Entlastung der Rechenressourcen von Steuer- und Kontrollfunktionen sowie zur Pufferung bei der Datenübertragung bieten sich Konzentratoren an.

*4. Etappe:*

„Direktkopplung der Ebenen der Rechnerhierarchie; Bereitstellung von Ressourcen zur Datenfernverarbeitung und zur Dialogverarbeitung (als Hilfsmittel für den Experimentator vor Ort)"
Diese Etappe enthält folgende Charakteristika:

— Die Leistungsparameter der Geräterechner genügen vielfach langfristig nicht den Anforderungen des Experiments an die Rechentechnik, insbesondere nicht den Erfordernissen der Massendatenspeicherung, der Verarbeitungsmöglichkeiten und der verfügbaren Rechnerperipherie (durch die Mikroelektronik nehmen zwar die Kosten für die Zentraleinheit der Geräterechner (Mikrorechner, Kleinrechner) ab, die Aufwendungen zur Bereitstellung leistungsfähiger peripherer Geräte, wie Eingabe-Ausgabetechnik, Großraumspeichertechnik, nehmen dagegen zu)
— Die die Einsatzbreite der Geräterechner bzw. der dezentralen Kleinrechentechnik einschränkenden Momente können durch die Potenzen der Rechentechnik der übergeordneten Ebenen (zentraler Rechenkomplex) sinnvoll kompensiert werden (Aufteilung der Rechenressourcen auf Zentralrechner-, Vorverarbeitungs- und Geräterechnerebene)
— Der zentrale Rechenkomplex ermöglicht perspektivisch, auch Ressourcen anderer Forschungseinrichtungen zu erschließen (über ein lokales und/oder nationales Rechnernetz).

## 3. Bisher gesammelte Erfahrungen

Die Darstellung der bis jetzt beim Systemaufbau und bei der Systemnutzung gewonnenen Erfahrungen erfolgt in Anlehnung an die Grundsätze G1 bis G10:

Zu G1:
Es hat sich gezeigt, daß mit der Inbetriebnahme einer ersten durchgängigen Strecke (automatisierte Meßwerterfassung, Off-line-Meßdatenverarbeitung, alphanumerische und grafische Ergebnisdarstellung) das Interesse potentieller Nutzer (Experimentatoren) am Einsatz dieses Instrumentariums zunehmend gestiegen ist. Obwohl die Parameter der einsetzbaren Gerätetechnik sich noch im unteren Teil des Leistungsspektrums bewegten, konnte bereits ein beachtlicher Nutzen registriert werden, z. B. hinsichtlich

— einer Rationalisierung des Versuchsbetriebes
— der Realisierung experimenteller Untersuchungen, die bisher nicht möglich waren
— der Bereitstellung von Meßergebnissen mit einer höheren Qualität, als sie manuell möglich ist.

Teilweise mußte, um diese Ergebnisse mit der verfügbaren Technik zu erreichen, ein nichtoptimaler Weg beschritten werden (z. B. mehrfache Datenträger- und/oder Kodeumsetzungen). Die Erfahrungen bestätigten das in der Regel günstige schrittweise Vorgehen bei der Bereitstellung rechentechnischer Ressourcen. So führten die bei der „Lochbandarbeit" gesammelten Erfahrungen zur Schaffung von Möglichkeiten zur Verarbeitung von auf Magnetband gespeicherten Meßwerten und die hieraus gezogenen Erkenntnisse zur Bereitstellung von Ressourcen zur On-line- und Echtzeitverarbeitung.

Zu G2:
Digitale und analoge Meßwerterfassungstechnik wurde bereitgestellt. Obwohl leistungsfähige Analog- und Hybridrechentechnik verfügbar war, erfolgte die Verarbeitung der Meßinformationen fast ausschließlich digital.
Über die im Nahbereich des zentralen Rechenkomplexes bereitgestellten Ressourcen zur diskreten und stetigen Ergebnisdarstellung hinaus wurden derartige Möglichkeiten auch Experimentatoren vor Ort zur Verfügung gestellt (Ergebnisfernausgabe des zentralen Rechenkomplexes). Die Bereitstellung der experimentellen Forschung angepaßter niveauvoller Nah- und Fernzugriffstechniken bildet einen Entwicklungsschwerpunkt für die nächste Zeit.
Eine wirksame kontinuierliche Anwenderunterstützung erwies sich als ein wesentliches Moment bei der Realisierung rechnergestützter Experimente. Eine Reduzierung des hierfür einsetzbaren Zeitfonds führte zum merklichen Rückgang der Zahl der die Rechentechnik nutzenden Experimentatoren.
Sofern nicht ein Zwang zur Experimentautomatisierung bestand, wurde in der Vergangenheit oftmals aus „Scheu vor der unbekannten Technik" Abstand von einem Einsatz der Rechentechnik genommen. Die heutige Verfügbarkeit von Mikrorechnern brachte auch in dieser Beziehung (infolge der gegebenen besseren Überschaubarkeit) einen Wandel.

Zu G3:
Bei Anschaffungen und Entwicklungen wurde stets versucht, der Flexibilität des Systems Rechnung zu tragen. Diesem Bestreben widersprach verschiedentlich das Angebot an Gerätetechnik, System- und Applikationsprogrammen sowie anderen Ressourcen. Vor besonderen Konflikten stehen die Systementwickler, wenn das Angebot Elemente und Teilsysteme umfaßt, die zwar leistungsfähig aber nicht paßfähig oder nicht flexibel einsetzbar sind. Gezeigt hat sich ferner, daß bei Selbstentwicklungen die dafür einsetzbare Kapazität real eingeschätzt werden muß, um das Vorhaben termingerecht zu beenden. Wünsche hinsichtlich eines Wechsels der Kopplung zwischen Versuchsobjekt und Rechentechnik betrafen bisher vorrangig den Übergang von der indirekten zur direkten Rechnerkopplung. Es zeichnet sich jedoch die Notwendigkeit von Havarielösungen ab, um Rechnerausfällen und u. U. Rechenzeitengpässen in gewissem Umfange begegnen zu können.

Zu G4:
Der Erweiterung der Systemlösung durch die Einbeziehung neuer Elemente und Systeme wurde/wird besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Diesen Bemühungen wirken jedoch teilweise die Eigenschaften der gegenwärtig und in nächster Zeit kommerziell zur Verfügung stehenden Gerätetechnik und Systemunterlagen entgegen. Für Erweiterungen offene Meßwerterfassungs-, -übertragungs-, und -verarbeitungsprogramme liegen vor.

Zu G5:
Die gegenwärtig eingesetzten Geräte zur Meßwerterfassung vor Ort erfüllen mit einigen Einschränkungen die Kriterien „leicht transportabel", „leicht handhabbar". Es sind dies jedoch sämtlich Geräte, die für einen Einsatz unter Laborbedingungen entwickelt wurden. Hieraus ergaben sich verschiedentlich Schwierigkeiten bei ihrer Aufstellung in Maschinenhallen.

Zu G6:
Zur Off-line-Meßdatenverarbeitung wurden und werden (bis auf den Minsk 22) die Rechner Minsk 22, KRS 4201, PRS 4000 und EC 1040 genutzt. Nach anfänglich ausschließlicher Verarbeitung von auf Lochband erfaßten Meßwerten erfolgte in einem weiteren Entwicklungsschritt die Schaffung von Möglichkeiten zur Eingabe auf Magnetband gespeicherter analoger und digitaler Meßwerte. An den zentralen Rechenkomplex wurden über Entfernungen zwischen 70 m und 500 m bisher vier Versuchsanlagen direkt gekoppelt. In drei Fällen erfolgte dabei (bzw. wird noch praktiziert) eine Meßinformationsverarbeitung im Echtzeitregime. Dabei trat sehr deutlich die Vielzahl der Einflußfaktoren zutage, die zur Absicherung einer stabilen Versuchsdurchführung mit Rechnerfernkopplung koordiniert werden müssen.
Die hierbei gesammelten Erfahrungen kommen zahlreichen Forschungskollektiven der THM bei der Installation von Rechentechnik in unmittelbarer Nähe des Versuchsobjektes zugute. Insbesondere bietet die Mikrorechentechnik hierfür günstige Voraussetzungen.
Erste Fernzugriffsmöglichkeiten zur Kommunikation zwischen den Experimentatoren vor Ort und der zentral installierten Rechentechnik während des Versuchsbetriebes sowie zur Meß-

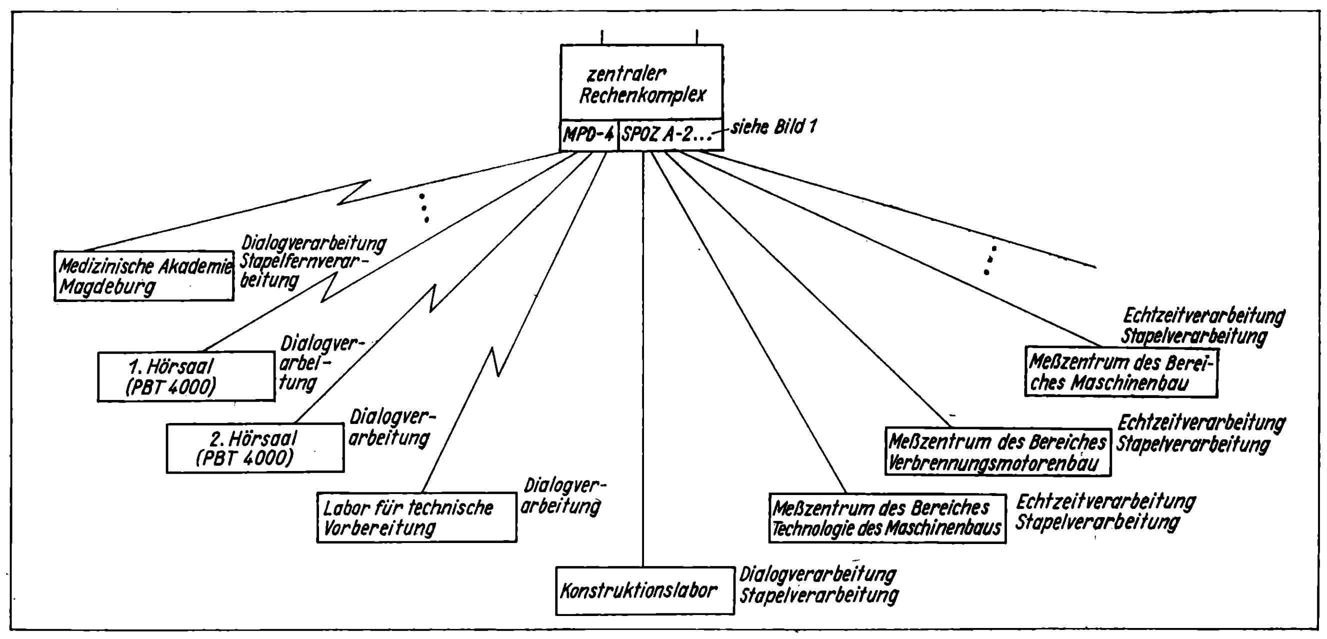



**Bild 2.** Darstellung einiger realisierter Fernzugriffsmöglichkeiten zum zentralen Rechenkomplex

datenauswertung im Dialogbetrieb wurden über fernaufgestellte elektrische Schreibmaschinen geschaffen. Intelligente Terminals (z. B. PBT 4000) als weitere Entwicklungsstufe lösen diese Technik ab bzw. erweitern das Spektrum der Möglichkeiten (Bild 2).

Zu G7:

Mit zunehmender Zahl der rechnergestützt arbeitenden Experimentatoren und der Entwicklung der Intensität der Rechnernutzung stellten sich sehr bald die Leistungs- und Effektivitätsgrenzen der autonomen Verarbeitungsressourcen heraus. Als Ausweg aus dieser Situation, zur Schaffung einer auch den Anforderungen der Zukunft entsprechenden Lösung und in Auswertung internationaler Erfahrungen [4] bis [9] wurde mit dem Aufbau eines aus Zentralrechner-, Vorverarbeitungs- und Geräterechnerebene bestehenden hierarchisch strukturierten Mehrrechnersystem begonnen. Realisierte Kopplungen zwischen der oberen und der mittleren Ebene des Systems befinden sich in der Nutzung. An Verbindungen zwischen der Geräterechnerebene und Vorverarbeitungsebene wird gearbeitet.

Zu G8:

Die zentrale Verwaltung, Wartung und Ergänzung des Gerätesystems (Meßwerterfassungs-, -übertragungs- und verarbeitungstechnik) hat sich besonders in der Phase des Einstiegs von Experimentatoren in das rechnergestützte Arbeiten bewährt. Durch den Geräteausleihdienst gelang es, Versuchsobjekte in kurzer Zeit mit automatisierten Meßwerterfassungsplätzen auszustatten, Kollektiven bei vorübergehenden Erweiterungen vorhandener Technik Unterstützung zu geben und bei Geräteausfällen eine Havariehilfe abzusichern. Eigene Meßwerterfassungs- und -verarbeitungstechnik setzten Experimentatoren (dezentral) bisher ein, wenn es sich um Vorhaben längerer Laufzeit handelte. Durch den heute gegebenen kostengünstigen Zugriff zu Bausteinen der Mikrorechentechnik und Mikroelektronik ist ein sprunghaftes Anwachsen der Installation von Rechentechnik in den Laboratorien und Versuchsfeldern zu verzeichnen.

Es wurde eine leistungsstarke zentrale Verarbeitungstechnik aufgebaut, die unter Beachtung der Anforderungen und Möglichkeiten schrittweise erweitert wird.

Zu G9:

Zur Absicherung der Leistungsfähigkeit und Nutzerfreundlichkeit der Systemlösung wird vom Entwicklerkollektiv ein beträchtlicher Teil der verfügbaren Forschungskapazität eingesetzt. Schwerpunkte dabei sind unter dem besonderen Aspekt der Schaffung multivalent nutzbarer hochleistungsfähiger zentraler Ressourcen

— die Anpassung kommerziell bereitgestellter oder anderweitig erhältlicher Gerätetechnik, System- und Applikationsprogramme an die Bedürfnisse der Forschung und Lehre einer technischen Hochschule
— die Eigenentwicklung nicht verfügbarer Ressourcen.

Über bereitgestelltes Informationsmaterial hinaus wird der aufgebaute Beratungsdienst zu technischen Fragen, zur Algorithmenauswahl und zur Programmierung rege genutzt.

Zu G10:

Eine kurzfristige Verarbeitung auf Lochband oder Magnetband erfaßter Meßwerte konnte zurückblickend meistens gewährleistet werden. Engpässe in der Rechenzeitbereitstellung lassen sich mit zunehmender Zahl der Ressourcen des zentralen Rechnerkomplexes immer besser ausgleichen. Diese prinzipielle Möglichkeit wird jedoch auch wieder durch die Zugehörigkeit der aufgeführten Rechner zu unterschiedlichen Familien (außer PRS 4000 und KRS 4201) und die dadurch in der Regel nicht gegebene Programm- und Datenkompatibilität eingeschränkt.

## Schlußbemerkungen

Die Entscheidung für den Aufbau einer Systemlösung wurde durch die bisher damit gesammelten Erfahrungen als richtig bestätigt. Neben der hierdurch erfolgten Bereitstellung wirksamer Forschungsinstrumente entwickelte sich dabei eine nutzbringende intersektionäre und interdisziplinäre Gemeinschaftsarbeit, die gute Voraussetzungen auch zur kooperativen Lösung zukünftiger Aufgaben bietet.

Im Mittelpunkt der gegenwärtigen und nächsten Arbeiten steht der kontinuierliche Ausbau des zentralen Rechenkomplexes hinsichtlich einer weiteren Erhöhung der Leistungsfähigkeit sowie der Schaffung nutzerfreundlicher Zugriffsformen. Parallel dazu erfolgt eine weitere Entwicklung der Installation intelligenter Rechentechnik am Ort des Experiments — sowohl zur unmittelbaren Unterstützung desselben als auch zur Realisierung von Fernzugriffen zu zentralen Ressourcen. Perspektivisch zeichnet sich ein Wandel der Rechnerhierarchie in ein lokales Netz ab.

## Literatur


[1] *Böhlert, H.; Stuchlik, F.:* Methodik zur Anwendung der automatisierten Meßdatenverarbeitung im Rahmen der experimentellen Forschung an der Technischen Hochschule „Otto von Guericke" Magdeburg (1. Fassung). Forschungsbericht TH „Otto von Guericke" Magdeburg 1973.

[2] *Böhlert, H.:* Konzeption zum Einsatz der automatisierten Meßwerterfassung und Meßdatenverarbeitung zur Rationalisierung der Forschungsarbeiten an der Technischen Hochschule „Otto von Guericke" Magdeburg (Aktualisierung). Forschungsbericht, TH „Otto von Guericke" Magdeburg 1975.

[3] *Böhlert, H.:* Beiträge zur automatisierten Meßwerterfassung und Meßdatenverarbeitung in der experimentellen technischen Forschung. Dissertation A, TH Magdeburg 1979.

[4] *Basewicz, M.:* WASC-Teilnehmerrechnersystem der TH Wrocław. Rechentechnik und Datenverarbeitung, Berlin (1974) 4, S. 14–16.

[5] *Basewicz, M.; Potrz, I.:* Laborautomatisierung im Hochschulwesen. Rechentechnik und Datenverarbeitung, Berlin (1974) 7, S. 16–19.

[6] *Gowrun, N. P.*, u. a.: Die Grundrichtungen der Entwicklung des zentralen Rechnersystems im Vereinigten Institut für Kernforschung Dubna. Wiss. Zeitschrift der TH „Otto von Guericke" Magdeburg (1977) 2, S. 247–250.

[7] *Neubert, P.:* Über Konzeption und Aufbau eines Rechnerverbundes unter Ausnutzung des CAMAC-Standards. Nachrichtentechnik/Elektronik, Berlin 26 (1976) 11, S. 458.

[8] *Rougen, F.:* Kopplung von verschiedenen Experimentrechnern mit einer Siemens-306/320-Installation über CAMAC. PDT-Bericht 1974; Tagungsbericht der 5. Jahresversammlung des Anwenderkreises I Siemens-Prozeßrechner.

[9] Kommission für Datenverarbeitung der Kernforschungsanlage Jülich: Konzept zum Aufbau eines On-line-Datenverarbeitungssystems in der KFA (1972).

[10] *Böhlert, H.; Stuchlik, F.:* Meßwerterfassung und Meßdatenverarbeitung in der experimentellen Forschung. Rechentechnik und Datenverarbeitung, Berlin (1981) 4. Beiheft, S. 8–17.

[11] *Schulze, W.:* Wissenschaftliche Forschung und elektronische Rechentechnik. Berlin: Akademie-Verlag 1975.

[12] *Hofmann, U.* (Herausgeber): Forschungstechnologie, Aufgaben-Probleme-Aktivitäten. Berlin: Akademie-Verlag 1983.


msr 8044

*P. Cschornack*[1])

# Prüfeinrichtungen für Flüssigkeits-Durchflußmeßmittel — ein Variantenvergleich der Versorgungseinrichtungen

## 0. Einleitung

Prüfeinrichtungen für Durchflußmeßmittel bestehen im wesentlichen aus den Elementen Versorgungseinrichtung, Meßstrecke und Normal. Aufgabe der Versorgungseinrichtung ist es, in einem dem Prüfanliegen entsprechenden Variationsbereich — dem Durchflußbereich — den Volumenstrom und den statischen Druck zu erzeugen und die Werte im jeweiligen Prüfpunkt zu stabilisieren. Dafür sind unterschiedliche technische Lösungen denkbar. Eine Arbeitsgruppe der Kammer der Technik erarbeitete vor einiger Zeit eine Empfehlung zur Gestaltung von Prüfeinrichtungen für Flüssigkeits-Durchflußmeßmittel [1]. Die nachfolgenden Ausführungen geben eine Übersicht über mögliche Versorgungseinrichtungen. Sie ergänzen die KDT-Empfehlung, bedingen sie jedoch nicht.

## 1. Varianten von Versorgungseinrichtungen und verallgemeinertes Modell

Das Ziel der Prüfung eines Durchflußmeßmittels (Prüfling) auf einer der hier betrachteten Prüfeinrichtungen ist die punktweise Ermittlung seiner Meßunsicherheit durch Vergleich mit dem Normal. Dabei spielt die „Schärfe" des Prüfpunktes — die relative systematische oder zufällige Änderung des eingestellten Volumenstroms — eine entscheidende Rolle hinsichtlich der Aussagefähigkeit des Prüfergebnisses. Die Anforderungen an die Prüfpunktstabilität werden bestimmt von der zu überprüfenden Genauigkeits- bzw. Fehlerklasse und der Art der Prüflinge und des Normals.

Es sind sehr unterschiedliche technische Lösungen für eine Versorgungseinrichtung denkbar. Abgesehen von der Spezifik, die durch das Medium (Meßgut) und das Bestreben des Angleichens der Prüf- an die Einsatzbedingungen verursacht wird, können sie sich darin unterscheiden, daß

- der Durchfluß und der statische Druck mit Pumpen bzw. Verdichtern im Inselbetrieb erzeugt werden oder daß vorhandene Netze flüssiger bzw. gasförmiger Energieträger genutzt werden
- das Medium unmittelbar oder über Zwischenspeicher — insbesondere Hochbehälter — in die Meßstrecke eingespeist wird
- die Zwischenspeicher im Kreislauf- oder Auslaufbetrieb arbeiten
- die Auswirkungen von Störgrößen mit rein apparate- oder steuerungstechnischen Mitteln kompensiert werden.

Es kann nicht Anliegen dieses Beitrags sein, alle Varianten zu diskutieren; sie sind als spezielle Lösungen aus einem verallgemeinerten Modell einer Versorgungseinrichtung herleitbar. Bild 1 zeigt das Schema und den Signalflußgraphen dieses Modells.

Das Ziel besteht in der Bereitstellung eines Volumenstroms $\dot{V}$ bei einem statischen Druck $p_2$, der hoch genug ist, den hydraulischen Gesamtwiderstand der noch zu durchfließenden Strecke zu überwinden und Kavitation zu vermeiden. Die Durchflußänderung $\Delta\dot{V}$ sollte Null sein. Sie wird verursacht durch Störungen im Pumpenbetrieb, die hier stellvertretend durch Änderungen der Drehzahl $\Delta n$ und der Saughöhe $\Delta h_s$ symbolisiert werden. Als Ursache der Drehzahländerungen werden Schwankungen der Netzfrequenz $\Delta f$ angenommen. Andere Einflüsse können die dargestellten Kopplungen ergänzen bzw. ersetzen. Durch einen Zwischenspeicher entstehen weitere Kopplungen, und Einflußgrößen kommen hinzu: der Füllstand $h$ und der Gasdruck $p_L$ als mögliche Regel- bzw. Ersatzabbildungsgrößen für $\dot{V}$, der Netzdruck $p_H$ als neue Störgröße. Als Steuergrößen kommen — sieht man von der Möglichkeit einer Antriebsregelung ab — die $k_V$-Werte der Ventile in Frage, gleichgültig, ob sie über Drossel- oder Stellventile realisiert werden.

[1]) Dr.-Ing. *Peter Cschornack* (42) studierte nach der Berufsausbildung zum Elektromechaniker und Fernmeldemechaniker an der Ingenieurschule „Hanno Günther" Velten-Hohenschöpping das Fach Elektrische Anlagen. 1962 bis 1970 Tätigkeit in der BMSR-Abteilung des Kombinats VEB Chemische Werke Buna. 1964 bis 1970 kombiniertes Fern- und Abendstudium der Verfahrenstechnik an der Technischen Hochschule „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg. Ab 1970 Tätigkeit an dieser Hochschule, zunächst als wissenschaftlicher Assistent, nach der Promotion A im Jahre 1976 als wissenschaftlicher Oberassistent. 1978 bis 1979 Zusatzstudium am Leningrader Technologischen Institut. Jetzt Fachgebietsleiter im ASMW.

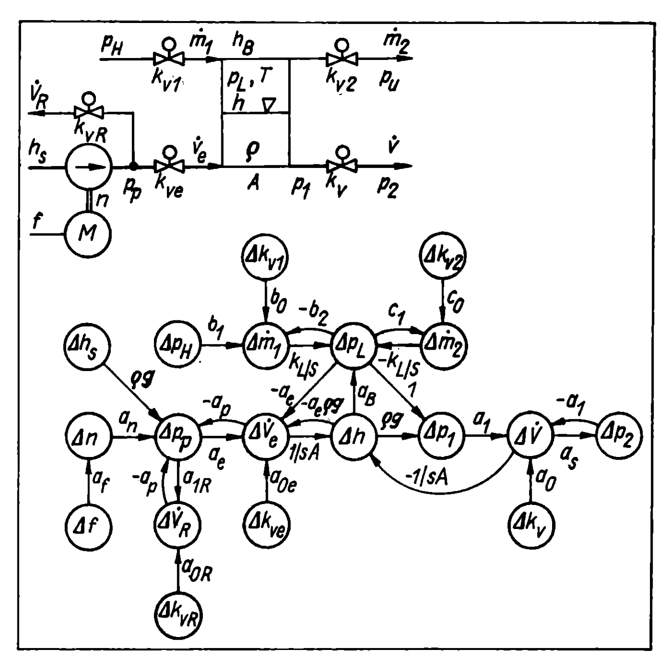


Bild 1. Schema und Signalflußgraph des verallgemeinerten Modells einer Versorgungseinrichtung

Die Übertragungsfaktoren an den Kanten des Signalflußgraphen sind wie in Tafel 1 angegeben definiert und lassen sich aus den bekannten Verknüpfungsbeziehungen in der ebenfalls angegebenen Art herleiten. Es wurden einstufige Kreiselpumpen und für das Ventil mit $k_{V2}$ eine überkritische Entspannung angenommen (Hinweise zur Modellierung findet man z. B. in [2]).

Die Auswertung des Signalflußgraphen führt zu den in der Tafel 2 angegebenen Übertragungsfunktionen. Die dabei verwendeten Konstanten erläutert Tafel 3. Entsprechende Beziehungen kann man für den Druck $p_1$ über die Beziehung

$$\Delta p_1 = \Delta p_L + \varrho g \Delta h \tag{1}$$

einfach herleiten. Der gemeinsame Nenner $N$ der Übertragungsfunktionen weist sie als nicht schwingungsfähig aus (Dämpfungsgrad $\geqq 1$).

## 2. Diskussion von Spezialfällen

Das verallgemeinerte Modell gestattet die Auswahl von Steuerungsstrukturen und die Abschätzung der erreichbaren Ergebnisse $\Delta\dot{V}/\dot{V}$ in Abhängigkeit von der Art und dem Charakter der erwarteten Störgrößen und apparatetechnischen Auslegung. Einige Varianten sollen zur besseren Veranschaulichung diskutiert werden.

### 2.1. *Pumpe ohne Zwischenspeicher*

Diese Grundvariante des Inselbetriebs einer Versorgungseinrichtung bedeutet für den Signalflußgraphen nach Bild 1 $\Delta p_P = \Delta p_1$, $\Delta\dot{V}_e = \Delta\dot{V}$ und den Wegfall der dazwischen liegenden Variablen und Konstanten. Man erhält Bild 2. Seine Auswertung führt zu

$$\left.\begin{aligned} \frac{\Delta\dot{V}}{\dot{V}_0} &= \frac{1}{1+k_0(1+g_1^* g_R)}\left(\frac{\Delta f}{f_0} + \frac{\varrho g \Delta h_s}{2(p_{P0}-p_u)} - \right. \\ &\qquad \left. - k_0 g_R \frac{\Delta k_{VR}}{k_{VR0}} + g_1^* \frac{k_V}{k_{V0}}\right); \\ g_1^* &= \frac{p_{P0}-p_{20}}{p_{P0}-p_u}. \end{aligned}\right\} \tag{2}$$

Tafel 4 zeigt die Größenordnung der Pumpenkonstanten $k_0$, wie man sie aus den Leistungsfeldern handelsüblicher einstufiger Kreiselpumpen herleiten kann; Zwischenwerte können nähe-

**Tafel 1. Definition und Berechnung der Übertragungsfaktoren des Signalflußgraphen**

$$a_0 = \left(\frac{\partial \dot V}{\partial k_v}\right)_0 = \frac{\dot V_0}{k_{v0}}$$

$$a_1 = \left(\frac{\partial \dot V}{\partial p_1}\right)_0 = -\left(\frac{\partial \dot V}{\partial p_2}\right)_0 = \frac{\dot V_0}{2(p_{10} - p_{20})}$$

$$a_B = \left(\frac{\partial p_L}{\partial h}\right)_0 = \frac{p_{L0}}{h_B - h_0}$$

$$a_e = \left(\frac{\partial \dot V_e}{\partial p_P}\right)_0 = -\left(\frac{\partial \dot V}{\partial p_1}\right)_0 = \frac{\dot V_0}{2(p_{P0} - p_{10})}$$

$$a_f = \left(\frac{\partial n}{\partial f}\right)_0 = \frac{n_0}{f_0}$$

$$a_n = \varrho g\left(\frac{\partial H}{\partial n}\right)_0 = \frac{2(p_{P0} - p_u)}{n_0}$$

$$a_p = -\varrho g\left(\frac{\partial H}{\partial \dot V}\right)_0 = k_0 \frac{2(p_{P0} - p_u)}{\dot V_0}$$

$$a_{0e} = \left(\frac{\partial \dot V_e}{\partial k_{ve}}\right)_0 = \frac{\dot V_0}{k_{ve0}}$$

$$a_{0R} = \left(\frac{\partial \dot V_R}{\partial k_{vR}}\right)_0 = \frac{\dot V_{R0}}{k_{vR0}}$$

$$a_{1R} = \left(\frac{\partial \dot V_R}{\partial p_P}\right)_0 = \frac{\dot V_{R0}}{2(p_{P0} - p_u)}$$

$$a_s = \left(\frac{\partial p_2}{\partial \dot V}\right)_0 = \frac{2(p_{20} - p_u)}{\dot V_0}$$

$$b_0 = \left(\frac{\partial \dot m_1}{\partial k_{v1}}\right)_0 = \frac{\dot m_0}{k_{v10}}$$

$$b_1 = \left(\frac{\partial \dot m_1}{\partial p_H}\right)_0 = \frac{\dot m_0(2p_{H0} - p_{L0})}{2p_{H0}(p_{H0} - p_{L0})}$$

$$b_2 = -\left(\frac{\partial \dot m_1}{\partial p_L}\right)_0 = \frac{\dot m_0}{2(p_{H0} - p_{L0})}$$

$$c_0 = \left(\frac{\partial \dot m_2}{\partial k_{v2}}\right)_0 = \frac{\dot m_0}{k_{v20}}$$

$$c_1 = \left(\frac{\partial \dot m_2}{\partial p_L}\right)_0 = \frac{\dot m_0}{p_{L0}}$$

$$k_L = \left(\frac{\partial p_L}{\partial \dot m_1}\right)_0 = -\left(\frac{\partial p_L}{\partial \dot m_2}\right)_0 = \frac{RT}{A(h_B - h_0)}$$

$$s = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} \quad \text{(Operator)}$$

rungsweise über eine quadratische Abhängigkeit vom Volumenstrom interpoliert werden. Man erkennt, daß sich Schwankungen der Drehzahl bzw. der Netzfrequenz nahezu ungemindert auf den Durchfluß auswirken. Mit steigendem Volumenstrom wird der Einfluß — im Ergebnis der abfallenden Pumpenkennlinie — etwas reduziert.
Möglichkeiten zur Stabilisierung des Volumenstroms sind über $k_{vR}$ und $k_v$ gegeben. Das Steuerungsproblem besteht in der Kompensation vergleichsweise geringer und schneller Änderungen der Störgröße in einem relativ großen Änderungsbereich der Führungsgröße, dem Durchflußbereich. Deshalb wird die Arbeitspunkteinstellung über das eine und die Stabilisierung über das andere Ventil erfolgen.

### 2.2. *Pumpe mit Druckausgleichsbehälter*

Im einfachsten Fall wird der Zwischenspeicher als reiner Druckausgleichsbehälter betrieben. Das bedeutet im Signalflußgraphen nach Bild 1 für die Größen $\Delta p_H = \Delta k_{v1} = \Delta k_{v2} = 0$ und für die Konstanten $k_L = b_2 = c_1 = 0$. Aus letzterem folgt (gemäß Tafel 3) $T_1 \to \infty$, und man erhält für diesen Grenzwertübergang aus Tafel 2 die entsprechenden Übertragungsfunktionen. Für

**Tafel 2. Übertragungsfunktionen des verallgemeinerten Modells einer Versorgungseinrichtung**

| $\frac{\Delta \dot V}{\dot V_0} N =$ | $\frac{\Delta p_L}{p_{P0} - p_u} N =$ | $\frac{\varrho g \Delta h}{p_{P0} - p_u} N =$ |
|---|---|---|
| $(1 + s(T_1 + T_2))\frac{g_2}{g_1} G_R G_1$ | $sT_2 2G_R G_1$ | $(1 + sT_1)\,2G_R G_1 \cdot \frac{\Delta f}{f_0}$ |
| $(1 + s(T_1 + T_2))\frac{g_2}{2g_1} G_R G_1$ | $sT_2 G_R G_1$ | $(1 + sT_1)\,G_R G_1 \cdot \frac{\varrho g \Delta h_s}{p_{P0} - p_u}$ |
| $sT_3 \frac{g_2}{2g_1} g_4$ | $(1 + sT_3)\,g_4$ | $-g_4 \cdot \frac{\Delta p_H}{p_{H0} - p_u}$ |
| $(1 + s(T_1 + T_2))\frac{g_2 g_3}{g_1} G_1$ | $sT_2 2g_3 G_1$ | $(1 + sT_1)\,2g_3 G_1 \cdot \frac{\Delta k_{ve}}{k_{ve0}}$ |
| $\left((1 + sT_1)\left(1 + s\frac{T_2}{G_1}\right) + sT_2\right) g_1 G_1$ | $-sT_2 2g_1(1 - G_1)$ | $-(1 + sT_1)\,2g_1(1 - G_1) \cdot \frac{\Delta k_v}{k_{v0}}$ |
| $-(1 + s(T_1 + T_2))\,k_0 g_R \times \frac{g_2}{g_1} G_R G_1$ | $-sT_2 2k_0 g_R G_R G_1$ | $-(1 + sT_1)\,2k_0 g_R G_R G_1 \cdot \frac{\Delta k_{vR}}{k_{vR0}}$ |
| $sT_3 \frac{g_2}{g_1} g_5$ | $(1 + sT_3)\,2g_5$ | $-2g_5 \cdot \frac{\Delta k_{v1}}{k_{v10}}$ |
| $-sT_3 \frac{g_2}{g_1} g_5$ | $-(1 + sT_3)\,2g_5$ | $2g_5 \frac{\Delta k_{v2}}{k_{v20}}$ |

$N = (1 + sT_1)(1 + sT_3) + sT_3$

$\Delta \dot V(\Delta h_s, \Delta f)$ ergibt sich ein $PT_1$-Verhalten; dessen Glättungseffekt wird wesentlich von der Verweildauer $\tau_F$ der Flüssigkeit bestimmt. Für $h_B = h_0$ geht der Effekt verloren. Die Gefahr dazu kann bei höheren statischen Drücken $p_1$ auftreten, wenn der Behälter vom Umgebungsdruck ausgehend gefüllt wird. Es empfiehlt sich, den Behälter auf einen höheren Anfangsdruck „aufzupumpen".

### 2.3. *Hochbehälter im Kreislaufbetrieb*

Durch einen Überlauf, d. h. $\dot V_e > \dot V$, wird für eine konstante Füllhöhe $h_0$ gesorgt und die Zwischenabbildungsgröße $\Delta h$ vom System nahezu entkoppelt. Sie kann als Störgröße interpretiert werden, indem ihre Schwankungen ein Maß für die Güte der technischen Lösung sind, für alle im Betrieb vorkommenden $\dot V_e > \dot V$ eine unbewegte Flüssigkeitsoberfläche zu garantieren. Der Signalflußgraph vereinfacht sich dann zu dem nach Bild 3. Abgesehen von einer bewegten Oberfläche und $\dot V_e < \dot V$ sind Schwankungen des Volumenstroms nur durch Störungen im Ventil und Ungleichmäßigkeiten des hydraulischen Widerstandes denkbar, etwa im Übergangsgebiet zwischen laminarer und turbulenter Strömung.

### 2.4. *Zwischenspeicher im Auslaufbetrieb*

Das angegebene Modell eignet sich auch zur Beschreibung des Auslaufverhaltens von Zwischenspeichern, wenn man die Veränderung des Arbeitspunktes berücksichtigt, etwa durch Betrachtung bei ausgewählten Füllhöhen.

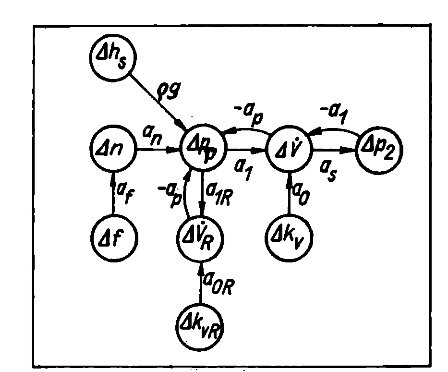



**Bild 2. Signalflußgraph für die Pumpe ohne Zwischenspeicher**

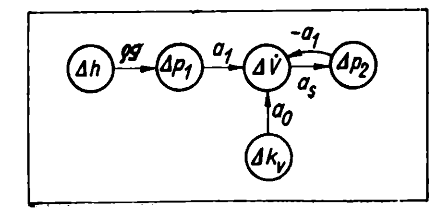



**Bild 3. Signalflußgraph für den Hochbehälter im Kreislaufbetrieb**

**Tafel 3. Erläuterung der Konstanten aus Tafel 2**

$$g_1 = \frac{k_0}{a_p a_1} = \frac{p_{10} - p_{20}}{p_{P0} - p_u}$$

$$g_2 = \frac{1}{1 + a_1 a_s} = \frac{p_{10} - p_{20}}{p_{10} - p_u}$$

$$g_3 = \frac{k_0}{a_p a_e} = \frac{p_{P0} - p_{10}}{p_{P0} - p_u}$$

$$g_4 = \frac{a_B}{\varrho g}\left(1 - \frac{h_0}{h_B}\right) = \frac{p_{L0}}{\varrho g h_B}$$

$$g_5 = \frac{1}{2(b_2 + c_1)(p_{P0} - p_u)} = \frac{p_{L0}}{p_{P0} - p_u} \frac{p_{H0} - p_{L0}}{2p_{H0} - p_{L0}}$$

$$g_6 = \frac{b_1}{b_2 + c_1} \frac{p_{H0} - p_u}{p_{P0} - p_u} = \frac{p_{L0}(p_{H0} - p_u)}{p_{H0}(p_{P0} - p_u)}$$

$$g_7 = 2\frac{m_L}{\dot{m}_0} k_L(b_2 + c_1) = \frac{2p_{H0} - p_{L0}}{p_{H0} - p_{L0}}$$

$$g_8 = \frac{\dot{V}_0}{2V_B} \frac{A}{\varrho g} \frac{1 + a_1 a_s}{a_1} = \frac{p_{10} - p_u}{\varrho g h_B}$$

$$g_R = \frac{\dot{V}_{R0}}{\dot{V}_0}$$

$$g_B = \frac{h_0}{h_B}$$

$$G_R = \frac{1}{1 + a_p a_{1R}} = \frac{1}{1 + k_0 g_R}$$

$$G_1 = \frac{1}{1 + \frac{a_1(1 + a_p(a_{1R} + a_e))}{a_e(+a_{1R} a_p)(1 + a_1 a_s)}} = \frac{g_1}{g_1 + g_2(g_3 + k_0 G_R)}$$

$$\tau_F = \frac{V_B}{\dot{V}_0} = \frac{A h_B}{\dot{V}_0}$$

$$\tau_L = \frac{m_L}{\dot{m}_0} = \frac{(V_B - V_0)\, p_{L0}}{\dot{m}_0 R T}$$

$$T_1 = \frac{1}{k_L(b_2 + c_1)} = 2\tau_L g_7$$

$$T_2 = \frac{a_B}{\varrho g} T_1 = \frac{g_4 T_1}{1 - g_B}$$

$$T_3 = \frac{A}{\varrho g} \frac{1 + a_1 a_s}{a_1}(1 - G_1) = 2\tau_F g_8(1 - G_1)$$

$$p_{L0} = p_{10} - \varrho g h_0$$

**Tafel 4. Größenordnung und Variation von Kennwerten einstufiger Kreiselpumpen**

| Baureihe | Baugröße | Leistungspunkt | $P_k$ (in kW) | $\dot{V}$ (in m³/h) | $H$ (in m) | $k_0$ (–) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| KRZ 1H | 40/250 | 1 | 8,5 | 14,8 | 82,7 | 0,030 |
| | | 1 | 12,7 | 31,4 | 66,3 | 0,57 |
| | | 5 | 3,5 | 10,8 | 42,7 | 0,042 |
| | | 5 | 4,9 | 22,3 | 32,7 | 0,71 |
| KRZ 1H | 65/250 | 1 | 23,0 | 60,0 | 84,0 | 0,029 |
| | | 1 | 33,9 | 115,2 | 71,0 | 0,35 |
| | | 5 | 8,8 | 42,4 | 43,3 | 0,057 |
| | | 5 | 13,2 | 81,4 | 35,0 | 0,48 |
| KRZ H | 150/500 | 1 | 75,6 | 196 | 83,3 | 0,032 |
| | | 1 | 103,4 | 350 | 72,3 | 0,30 |
| | | 5 | 30,2 | 148 | 45,0 | 0,055 |
| | | 5 | 39,8 | 248 | 36,5 | 0,42 |

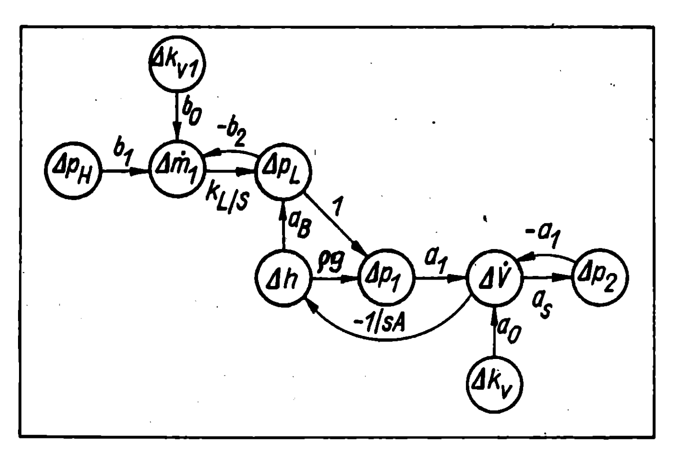



Bild 4. Signalflußgraph für den Zwischenspeicher im Auslaufbetrieb

Nachteile eines Einsatzes von Pumpen in Prüfeinrichtungen sind die Lärmbelastung und die allmähliche Aufheizung des Mediums, die Gegenmaßnahmen erfordert bzw. den Dauerbetrieb einschränkt. Bei Vorhandensein leistungsstarker Druckluftnetze o. ä. ist deshalb eine andere Realisierungsvariante möglich: Mit Gasdruck wird eine konstante Flüssigkeitsmenge aus einem Speicher durch die Meßstrecke in einen zweiten Behälter gedrückt und umgekehrt. Auch diese Variante ist ein Spezialfall des Signalflußgraphen, der hierfür das Aussehen nach Bild 4 annimmt.
Dargestellt ist der Fall, daß über $k_{V1}$ der für den Volumenstrom erforderliche Druck $p_L$ eingestellt wird. Im Modell ist ggf. zu berücksichtigen, daß der Druckabfall über der Strecke $p_2 - p_u$ sich in $p_2 - \varrho g h_2$ ändert, wenn das Füllen des zweiten Behälters dies mit sich bringt.
Den Vorteilen dieser Variante stehen als Nachteile die Beschränkung der Meßdauer und der höhere Energiebedarf gegenüber, den die Bereitstellung der erforderlichen Druckluft erfordert.

## Zusammenfassung

Bei keiner Meßgröße wird das Problem zwischen der Forderung effektiven Rohstoff- und Energieeinsatzes und der Schwierigkeit des Nachweises ihrer Verwirklichung so deutlich wie beim Durchfluß. Prüfeinrichtungen für Durchflußmeßmittel sollen und können zur Verbesserung der Situation beitragen. Aber sie sind aufwendig und teuer, ihre Realisierung muß sorgfältig vorbereitet werden. Das hier dargelegte will einen Beitrag dazu leisten, indem es für ein wesentliches Element einer Prüfeinrichtung für Flüssigkeits-Durchflußmeßmittel, die Versorgungseinrichtung, die Realisierungsmöglichkeiten aufzeigt und aus der Sicht ihrer Steuerbarkeit diskutiert. Die angegebenen Schemata und Gleichungen sollen das Verständnis für die Zusammenhänge zwischen den auftretenden Einfluß- und Auslegungsgrößen erleichtern. Sie gestatten die Ableitung von Steuerungsstrukturen und die Abschätzung der erreichbaren Stabilisierungsgüte.

*Verwendete Bezeichnungen:*

| | |
|---|---|
| $A$ | Behälterquerschnitt |
| $a, b, c$ | Konstanten (s. Tafel 1) |
| $f$ | Netzfrequenz |
| $G$ | Konstante (s. Tafel 3) |
| $g$ | Erdbeschleunigung; Konstante (s. Tafel 3) |
| $H$ | Förderhöhe |
| $h$ | Höhe, Füllstand |
| $h_s$ | Saughöhe |
| $k$ | Konstante (s. Tafeln 1 und 3) |
| $k_v$ | Ventilkoeffizient |
| $m$ | Masse |
| $\dot{m}$ | Massestrom |
| $N$ | Nenner der Übertragungsfunktion (s. Tafel 2) |
| $n$ | Drehzahl |
| $P_k$ | Kupplungsenergie |
| $p$ | Druck |
| $R$ | Gaskonstante |
| $s$ | Operator (s. Tafel 1) |
| $T$ | Temperatur; Zeitkonstante (s. Tafel 3) |
| $V$ | Volumen |
| $\dot{V}$ | Volumenstrom |
| $\varrho$ | Dichte |
| $\tau$ | Verweilzeit |
| *Indizes:* | |
| O | Arbeitspunkt |
| 0, 1, 2, … | fortlaufend, zur Unterscheidung von Konstanten |
| B | Behälter |
| e | Eintritt |
| F | Flüssigkeit |
| f | Frequenz |
| L | Luft, Gas |
| H | Hilfsenergie |
| n | Drehzahl |
| P | Pumpe |
| R | Rückstrom |
| u | Umgebung |

## Literatur


[1] Prüfeinrichtungen für Volumen- und Durchflußmeßeinrichtungen; KDT-Empfehlung. FA(F) BMSR-Technik des FV Chemische Technik 1982.
[2] *Brack, G.:* Einfache Modelle kontinuierlicher Prozesse. Band 197 der REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK. Berlin: VEB Verlag Technik 1982.


msr 8042

*R. Wloszczynski; G. Lorenz*[1])

# Realisierung eines Programmsystems für die sequentielle Versuchsplanung auf Mikrorechnern

## 0. Einleitung und Problemstellung

Eine charakteristische Aufgabenstellung für die Durchführung experimenteller Untersuchungen in der produktionsvorbereitenden Forschung und der Grundlagenforschung für die stoffwandelnde Industrie ist die Anpassung theoretisch ermittelter Modellansätze an experimentell gewonnene Daten aus dem untersuchten Prozeß. Die Aufwendungen zur Bereitstellung dieser Prozeßdaten (Arbeitskräfteaufwand, Versuchsdauer, stoffliche und energetische Aufwendungen) sind gerade bei der Untersuchung verfahrenstechnischer Objekte oft erheblich, insbesondere, wenn diese Anlagenteile von Produktionsanlagen darstellen. Es wird daher angestebt, zur Minimierung dieser Aufwendungen die Methoden der optimalen statistischen Versuchsplanung einzusetzen.

Bekanntlich setzt die Anwendung der üblichen Optimalitätskriterien parameterlineare Modellansätze voraus. Allerdings führen theoretische Überlegungen bei zahlreichen verfahrenstechnischen Fragestellungen zu typischen parameternichtlinearen Modellansätzen. Man erreicht eine suboptimale Lösung des Problems durch Linearisierung nichtlinearer Modellansätze, was dann notwendigerweise zu einer sequentiellen Vorgehensweise führt; die Festlegung des nächsten optimalen Versuchspunktes benötigt die Versuchsergebnisse der vorangegangenen. Die effektive Gestaltung der sequentiellen Versuchsplanung setzt also den Zugriff zur Rechentechnik unmittelbar an der Versuchsanlage voraus. Während die theoretischen Grundlagen der sequentiellen Versuchsplanung schon seit längerem bekannt sind, scheiterte ihre breite praktische Anwendung bisher am Fehlen einer mobilen, kompakten Rechentechnik mit einem günstigen Preis-Leistungsverhältnis. Diese ist mit der nunmehr zur Verfügung stehenden Mikrorechentechnik gegeben, so daß die automatische Realisierung der sequentiellen Versuchsplanung eine aktuelle Fragestellung ist.

## 1. Theoretische Grundlagen der sequentiellen optimalen statistischen Versuchsplanung

Die Methode der sequentiellen optimalen statistischen Versuchsplanung für parameternichtlineare Modelle wurde aus der optimalen statistischen Versuchsplanung für parameterlineare Modelle hergeleitet. Bekanntermaßen geht man bei der optimalen Versuchsplanung für parameterlineare Modelle von einem Versuchsplan

$$\boldsymbol{X}^j = (\boldsymbol{x}_1, \boldsymbol{x}_2, \dots, \boldsymbol{x}_j)^T \tag{1}$$

$\boldsymbol{x}_i$ Vektor der Werte der Einflußgrößen am $i$-ten Versuchspunkt, $j$ Anzahl der im Versuchsplan enthaltenen Versuchspunkte aus. Die Realisierung dieser Versuche ergibt nach dem $j$-ten Versuch den Ergebnisvektor

$$\tilde{\boldsymbol{Y}}^j = (\tilde{y}_1, \tilde{y}_2, \dots, \tilde{y}_j)^T . \tag{2}$$

($\tilde{y}_i$ aus dem $i$-ten Versuch gewonnenes Ergebnis)

Bei einem parameterlinearen Modell ist aus der Matrix des Versuchsplanes $\boldsymbol{X}$ und dem Ergebnisvektor $\boldsymbol{Y}$ eine Schätzung der Modellparameter $\boldsymbol{a}$ durch lineare Regression nach der Beziehung

$$\hat{\boldsymbol{a}} = (\boldsymbol{X}^T\boldsymbol{X})^{-1} \boldsymbol{X}^T\tilde{\boldsymbol{Y}} = \boldsymbol{C}^{-1}\boldsymbol{X}^T\tilde{\boldsymbol{Y}} \tag{3}$$

möglich. Diese Schätzung ist dann optimal, wenn sich eine optimale Versuchsplanmatrix $\boldsymbol{X}$ angeben läßt, für die die Streuung der Schätzkoeffizienten minimal wird. Zur Bewertung der Optimalität dient die Anordnung der Versuchspunkte in der Matrix $\boldsymbol{X}$, die sich in bestimmten Eigenschaften der Präzisionsmatrix $\boldsymbol{C}$ niederschlägt. Für parameternichtlineare Modelle ist eine Schätzung der Parameter nach (3) nicht möglich, da für diesen Fall keine Präzisionsmatrix definiert ist, auf die eines der bekannten Optimalitätskriterien angewendet werden könnte. Eine Schätzung der Parameter ist zwar prinzipiell mit der Methode der kleinsten Fehlerquadrate möglich, im angeführten Sinne jedoch nicht optimal. Um aber auch bei parameternichtlinearen Modellansätzen einen Zugang zur optimalen Versuchsplanung zu finden, bedient man sich üblicherweise der Linearisierung der Modellfunktion

$$Y = Y(\boldsymbol{a}, \boldsymbol{x}) \tag{4}$$

nach ihren Parametern $a_1, a_2, \dots, a_n$

$$f_l = \frac{\partial}{\partial a_l} Y(\boldsymbol{a}, \boldsymbol{x}) . \tag{5}$$

Damit kann in ähnlicher Form wie bei der Versuchsplanung für parameterlineare Modelle eine Pseudopräzisionsmatrix $\boldsymbol{C}'$ formuliert werden. Auf diese Matrix $\boldsymbol{C}'$ lassen sich nun die Optimalitätskriterien z. B. der A-, D- und G-Optimalität anwenden. Dabei ist zu beachten, daß die Pseudopräzisionsmatrix $\boldsymbol{C}'$

$$\boldsymbol{C}'^{j+1} = \begin{pmatrix} \sum_{m=1}^{j+1} f_{1,m}^2 & \sum_{m=1}^{j+1} f_{1,m}f_{2,m} & \cdots & \sum_{m=1}^{j+1} f_{1,m}f_{n,m} \\ \sum_{m=1}^{j+1} f_{2,m}f_{1,m} & \sum_{m=1}^{j+1} f_{2,m}^2 & \cdots & \sum_{m=1}^{j+1} f_{2,m}f_{n,m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \sum_{m=1}^{j+1} f_{n,m}f_{1,m} & \sum_{m=1}^{j+1} f_{n,m}f_{2,m} & \cdots & \sum_{m=1}^{j+1} f_{n,m}^2 \end{pmatrix}^{-1} \tag{6}$$

als frei wählbare Variable den neu zu planenden Versuchspunkt $\boldsymbol{x}_{j+1}$ enthält. Er ist nach dem gewählten Optimalitätskriterium so zu bestimmen, daß die Streuung der Modellkoeffizienten minimal ist und wird dann wertmäßig in den Versuchsplan $\boldsymbol{X}^j$ aufgenommen. Die Realisierung des Versuchspunktes $\boldsymbol{x}_{j+1}$ aus dem Plan $\boldsymbol{X}^{j+1}$ liefert das neue Versuchsergebnis $\tilde{y}_{j+1}$, das in den Ergebnisvektor aufgenommen wird und den neuen Ergebnisvektor $\tilde{\boldsymbol{Y}}^{j+1}$ ergibt. Mit dem so ermittelten aktualisierten Versuchsplan und dem neuen Ergebnisvektor kann wiederum eine nichtlineare Parameterschätzung vorgenommen werden. Diese Vorgehensweise setzt man solange fort, bis beim Konvergenzverhalten der Parameterschätzung eine geforderte Genauigkeitsgrenze erreicht ist. Ein entsprechendes Abbruchkriterium und seine Handhabung ist in [2] enthalten. Bild 1 zeigt schematisch die Vorgehensweise bei der sequentiellen Versuchsplanung für parameternichtlineare Modelle. Trotz der mit der sequentiellen Versuchsplanung verbundenen Vorteile bei der Bestimmung von Modellparametern parameternichtlinearer Modelle gibt es einige Nachteile, wie

- Notwendigkeit von Vorversuchen, um eine erste Parameterschätzung zu ermöglichen,
- hoher numerischer Aufwand für die Berechnung der Werte der Elemente der Pseudopräzisionsmatrix
- Notwendigkeit des Einsatzes eines Verfahrens der nichtlinearen Regression an zwei Stellen im Versuchsablauf, wodurch der Aufwand in der Handhabung sehr groß wird.

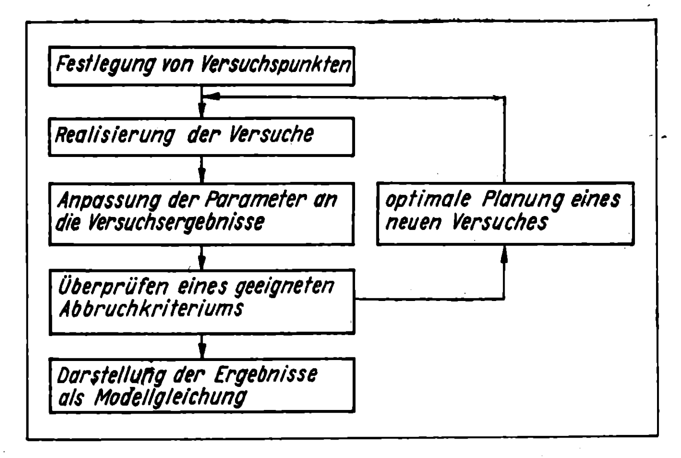



Bild 1. Ablauf der sequentiellen optimalen statistischen Versuchsplanung

[1]) Dipl.-Ing. *Raimund Wloszczynski* (26) studierte nach einer intensiven mathematisch-rechentechnischen Ausbildung von 1975 bis 1979 Verfahrenstechnik an der TH „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg. Seit 1980 dort wissenschaftlicher Assistent. Beschäftigung mit der Programmierung von Mikrorechnern.

Doz. Dr. sc. techn. *Gerald Lorenz* s. S. 213 dieses Heftes.

## 2. Konzeption zur Realisierung der sequentiellen Versuchsplanung

Zur Realisierung der sequentiellen Versuchsplanung auf einem Mikrorechner bedarf es einer Konkretisierung der im Bild 1 dargestellten Strategie im Hinblick auf ihre programmtechnische Ausführung. Geht man von dem in (4) angenommenen parameternichtlinearen Ansatz für die Modellfunktion aus, dann ist die Strategie der sequentiellen Versuchsplanung mit folgenden Schritten rechentechnisch realisierbar.

**Schritt 1**

Wie bereits gezeigt wurde, bedarf es für eine erste Schätzung der Modellparameter eines Vorversuchsplaes $X^k$. Dabei ist $k = n + 1$ der Mindestwert für die Anzahl der Punkte des Vorversuchsplanes, um überhaupt eine statistisch gesicherte Schätzung vornehmen zu können. Da es sich bei den Punkten des Vorversuchsplanes um ungeplante Experimente handelt, sie also nicht optimal im Sinne der Versuchsplanung sind, muß ihre Anzahl so klein wie möglich sein. Jeder zusätzliche Versuchspunkt über die Anzahl $k + 1$ hinaus vermindert die Optimalität des Gesamtplanes. Problematisch ist die Anordnung der Versuchspunkte des Vorversuchsplanes im Versuchsraum. Da man für parameternichtlineare Modellansätze nicht von vornherein eine im Sinne der Optimalität des Versuchsplanes bevorzugte Anordnung angeben kann, empfiehlt es sich, in Ermangelung besserer Erfahrungen, die Punkte gleichmäßig über das gesamte Versuchsgebiet zu verteilen.

**Schritt 2**

Die vorgegebenen Versuchspunkte werden nacheinander realisiert und die Beobachtungen im Ergebnisvektor nach (2) protokolliert.

**Schritt 3**

Der dritte Schritt beinhaltet die Schätzung der $n$ Parameter auf der Grundlage der bisher ermittelten Versuchsergebnisse $Y^j$ und des Versuchsplanes $X^j$ nach der Forderung

$$Y(\hat{a}^j, x): \sum_{i=1}^{j} (\tilde{y}_i - Y(a, x_i))^2 = \underset{a}{\mathrm{Min}}! \tag{7}$$

Für diese Schätzung ist es zweckmäßig, ein Suchverfahren zu wählen, das speziell für quadratische Zielfunktionen gutes Konvergenzverhalten aufweist. Nach [4] wird für die Suche des Optimums von Zielfunktionen der Form

$$G = \sum_i (g_i)^2 \tag{8}$$

das Suchverfahren nach *Marquardt* vorgeschlagen. Es handelt sich um ein gradientenbehaftetes Suchverfahren, das eine Modifikation des bekannten Gauß-Newton-Verfahrens darstellt [3] und [4]. Im Ergebnis der Schätzung erhält man den aktuellen angepaßten Parametervektor $\hat{a}$ nach dem $j$-ten Versuchsschritt.

**Schritt 4**

Als Abbruchkriterium für die Versuchsfolge kann folgende Beziehung gewählt werden.

$$\frac{|\hat{a}_i^j - \hat{a}_i^{j-1}|}{\tau_i + |\hat{a}_i^j|} < \varepsilon \quad \text{für alle} \quad i = 1, 2, \ldots, n\,. \tag{9}$$

$\tau_i$ numerischer Sicherungswert, $\tau \approx 10^{-5}$, $\varepsilon$ Genauigkeitsschranke, $\varepsilon \approx 10^{-5}$

Aus der Kenntnis des bisherigen Verlaufs des Experimentes kann nun ein neuer Versuchspunkt so bestimmt werden, daß ein geeignetes Optimalitätskriterium erfüllt ist. Für die darzulegende Konzeption wird das Kriterium der lokalen D-Optimalität ausgewählt

$$x_{j+1}: \det\left(C'^{j+1}(\hat{a}^j, X^{j+1})\right) = \underset{x_{j+1}}{\mathrm{Min}}! \tag{10}$$

$C'^{j+1}$ Pseudopräzisionsmatrix nach (6) für den $(j + 1)$-ten Versuchsplan

Bei der programmtechnischen Vorbereitung eines solchen Optimierungsproblems wird ersichtlich, daß die Anwendung eines gradientenbehafteten Suchverfahrens, wie es das Marquardt-Verfahren darstellt, auf einen hohen Aufwand in der Programmierung führt. Es empfiehlt sich deshalb die Anwendung eines gradientenfreien Suchverfahrens für die Suche nach dem optimalen Vektor $x_{j+1}$. Um den numerischen Aufwand gering zu halten, wurde auf ein einfaches Netzverfahren zurückgegriffen, das einer Suche parallel zu den Achsen mit konstanter Schrittweite entspricht. Mit dem so ermittelten neuen optimalen Versuchspunkt wird im Schritt 3 fortgesetzt, wobei dann nur ein zusätzlicher Versuch durchgeführt werden muß.

Die dargelegte Konzeption zur Realisierung der sequentiellen Versuchsplanung läßt sich, gekennzeichnet als sequentielle Versuchsplanung, in Einzelschritten, die als optimierendes Element das Kriterium der lokalen D-Optimalität enthält, einordnen.

## 3. Programm- und rechentechnische Realisierung

Bei der rechentechnischen Realisierung waren die typischen Umstände der verfahrenstechnischen Experimentation an Labor- und Kleinanlagen zu beachten. Aus diesen Umständen resultieren die folgenden Forderungen des Experimentators nach

- Umgehung von Zeitverlusten, die durch Nutzung von zentral organisierter Rechentechnik entstehen und damit schnellere Einflußnahme auf die Durchführung der Experimente
- hohem Komfort bei der Nutzung der Informationsverarbeitungstechnik
- niedrigen Kosten für die Nutzung von Rechentechnik für Routineexperimente
- hoher Verfügbarkeit der notwendigen Rechentechnik
- großer Flexibilität der Informationsverarbeitung einschließlich Möglichkeiten der On-line-Verarbeitung der Daten.

Alle diese Forderungen führten zu der Entscheidung, einen Mikrorechner in entsprechender Konfiguration zur rechentechnischen Realisierung der dargelegten Konzeption einzusetzen. Als Grundgerät wurde das Mikrorechnersystem MC 80 mit dem K 1520 als Kernrechner in der folgenden Konfiguration eingesetzt

- ZRE K 2521 mit 8-bit-Mikroprozessor und Ablaufsteuerung für das Rechnersystem
- PFS K 3820 mit 16 Steckplätzen für elektrisch programmierbare Festwertspeicher (EPROM-Typ 2708)
- OPS K 3525 mit 16 Kbyte dynamischem Speicher mit wahlfreiem Zugriff
- drei Ansteuerleiterkarten für Bildschirm, Tastatur, Kassettenmagnetbandgerät und EPROM-Programmiereinrichtung.

Das Gerät MC 80 vereint die genannten Komponenten einschließlich dem Bildschirm, der Tastatur und dem Kassettenmagnetbandgerät funktionell und konstruktiv in einem geschlossenen Gehäuse. Zusätzliche Steckkarten aus dem System K 1520 waren nur für die genutzte Variante der Robotron-Basis-MOS erforderlich (eine Karte OFS K 3620 mit 6 Kbyte EPROM und 2 Kbyte RAM). Ein weiterer Aspekt, der zur Auswahl des MC 80 als Basisgerät führte, war die Tatsache, daß dieses Gerät über ein komfortables, für dialoggeführte Programmabläufe geeignetes Betriebssystem verfügt. Damit konnte die im Bild 2 gezeigte Programmhierarchie verwirklicht werden.

**Bild 2.** Programmhierarchie des Programmsystems für die sequentielle Versuchsplanung



Die Hauptbestandteile des Anwenderprogramms sind

- MAQ: Programm zur nichtlinearen Parameterschätzung nach *Marquardt*
- DOP: Programm zur Bestimmung des neuen, optimalen Versuchspunktes nach dem Kriterium der lokalen D-Optimalität
- KRI: Programm zur Unterstützung der Entscheidungsfindung über den Abbruch der Versuche.

Alle Programme wurden mit Hilfe des MC 80 als Entwicklungssystem in SYPS K 1520 erstellt. Die Verwendung dieser mnemonisch orientierten Maschinensprache sichert den im Bild 3 dargestellten Programmspeicherbedarf. Das Struktogramm des Anwenderprogramms zeigt Bild 4.

Der Bedarf an Datenspeicherplatz betrug bei dem als Beispiel gewählten einfachen Problem 0,4 Kbyte. Bei der Anwendung auf höher-

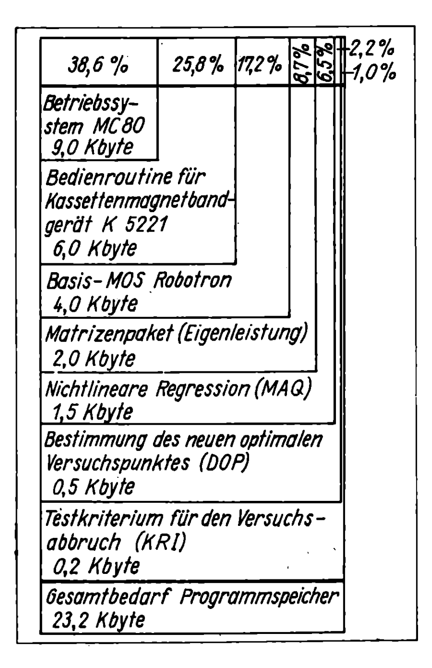



**Bild 3.** Bedarf an Programmspeicher für die einzelnen Programmteile

dimensionale Probleme muß jedoch beachtet werden, daß die Elementezahl der Matrizen das Produkt aus Zeilen- und Spaltenzahl ist und für jedes Element fünf byte benötigt werden. Mit steigender Zahl der Einflußgrößen oder der Parameter steigt der Speicherplatzbedarf linear; ändern sich beide Größen, dann steigt der Speicherplatzbedarf für zweidimensionale Matrizen quadratisch. Außerdem ist zu beachten, daß die Zahl der Matrizenelemente für einige Matrizen (Versuchsplanmatrix u. a. m.) linear mit der Anzahl der durchgeführten Versuche ansteigt, da ja stets der gesamte Verlauf des Experimentes abgespeichert werden muß. Diese Überlegungen führten zu der Entscheidung, ein Programmsystem aufzubauen, das die Daten auf externen Datenträgern speichert. Als Realisierungsvariante existiert die Kopplung eines Kassettenmagnetbandgerätes K 5221 mit dem MC 80. Die Programme zur Gerätebedienung sind im Anwenderprogramm integriert. Mit diesem magnetbandorientierten Betrieb sind etwa 256 Kbyte Speicherplatz verfügbar.
Die reine Rechenzeit zur Berechnung eines neuen optimalen Versuchspunktes einschließlich Simulation des Versuches und Parameterschätzung betrug bisher in keinem Fall mehr als 120 s. Die Versuchsplanung wird aber zeitintensiv durch die großen Zugriffszeiten zu den einzelnen Sätzen auf dem Magnetband. Sie können bis zu 60 s im Extremfall betragen. Demgegenüber ist die Zeitdauer für das Schreiben auf Band und Lesen vom Band mit etwa 0,5 Kbyte/s angebbar. Da aber ein Satz jeweils nicht nur eine Matrix, sondern eine Gruppe von gerade zur Rechnung benötigten Matrizen enthält, steigt die Gesamtrechenzeit gegenüber der reinen Rechenzeit nur auf etwa 400% an.

## 4. Erfahrungen mit dem Programmsystem

Als Testbeispiel für das Programmsystem wurde die einfache chemische Reaktion

$$A \rightleftarrows B \tag{11}$$

in Abhängigkeit von einer Einflußgröße $x$ betrachtet. Die erreichbare Endkonzentration der Komponente $B$ sei

$$c_B = a_1(1 - \exp(a_2 x)) \,. \tag{12}$$

In dieser nichtlinearen Modellgleichung sind die Parameter $a_1$ und $a_2$ zu ermitteln. Das gewählte Beispiel diente in erster Linie zum Test der Funktionsfähigkeit des Programmsystems und stellte damit eine sehr vereinfachte Problematik dar. Deshalb gelten alle im folgenden vermittelten Erfahrungen mit dem Programmsystem nur bedingt für die Anwendung auf andere Experimente mit anderen Modellgleichungen.
In die Untersuchungen wurden die Problemkomplexe

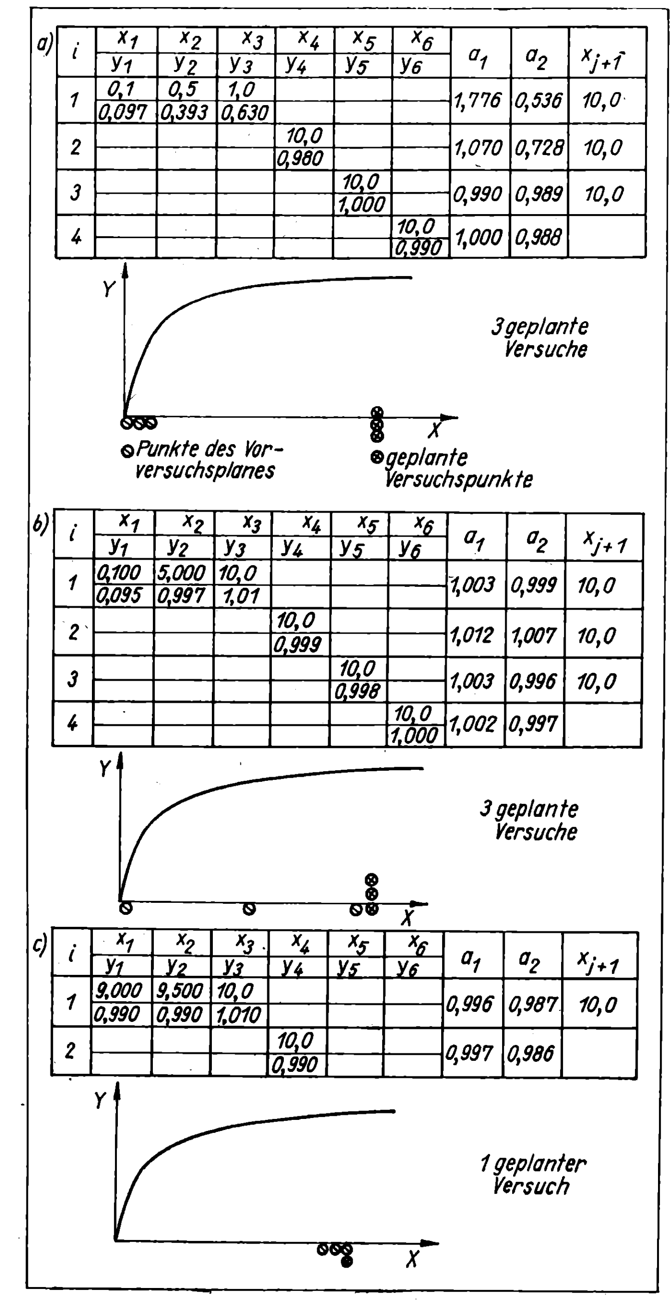
- Einfluß des Rundungsfehlers der verwendeten Arithmetik beim Marquardt-Verfahren
- Einfluß von methodenspezifischen Bedingungen (Wahl des Vorversuchsplanes, Anzahl der Vorversuche)

bezüglich Konvergenz und Erwartungstreue des realisierten Verfahrens einbezogen. Es ergaben sich folgende Schlußfolgerungen:

- Bei Verwendung einer achtstelligen Basis-Arithmetik und einer Dimension des Problems größer 20 (Produkt aus Parameter- und Einflußgrößenzahl des Modellansatzes) führte der Rundungsfehler zu nicht erwartungstreuen Schätzungen. Für Probleme dieser Dimension muß daher mindestens eine 16stellige Arithmetik verwendet werden.
- Bei dem untersuchten Problem lagen die berechneten optimalen Versuchspunkte alle im Bereich kleiner Gradientenänderungen der Modellfunktion. Ebenso war das Konvergenzverhalten besser, wenn die Punkte des Vorversuchsplanes in diesem Bereich lagen (siehe Bild 5a bis c).
- Die Variation des Umfangs des Vorversuchsplanes hatte keinen Einfluß auf die Konvergenz, die Summe von geplanten und ungeplanten Versuchspunkten blieb gleich, d. h., der Effekt der Optimalität kam bei einem Problem mit solch geringer Dimension nicht zur Wirkung.

**Bild 4.** Struktogramm des Anwenderprogramms zur sequentiellen Versuchsplanung

Vorbereitung der Datenspeicherbereiche
Eingabe: Vorversuchsplan
j := 1
Wiederholen
    j = 1?
    ja: Eingabe: Versuchsergebnisse des Vorversuchsplanes
    nein: Eingabe: Versuchsergebnis des j-ten Versuches
    nichtlineare Parameterschätzung nach Marquardt für alle bisher durchgeführten Versuche
    Überprüfen des Abbruchkriteriums
    nicht erfüllt: Bestimmung des neuen, lokal D-optimalen Versuchspunktes; j := j+1
    erfüllt: Abbruch der Versuchsreihe
Ausgabe: ermittelte Parameter der Modellgleichung




a)

| i | | $x_1$ / $y_1$ | $x_2$ / $y_2$ | $x_3$ / $y_3$ | $x_4$ / $y_4$ | $x_5$ / $y_5$ | $x_6$ / $y_6$ | $a_1$ | $a_2$ | $x_{j+1}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | x | 0,1 | 0,5 | 1,0 | | | | 1,776 | 0,536 | 10,0 |
| | y | 0,097 | 0,393 | 0,630 | | | | | | |
| 2 | x | | | | 10,0 | | | 1,070 | 0,728 | 10,0 |
| | y | | | | 0,980 | | | | | |
| 3 | x | | | | | 10,0 | | 0,990 | 0,989 | 10,0 |
| | y | | | | | 1,000 | | | | |
| 4 | x | | | | | | 10,0 | 1,000 | 0,988 | |
| | y | | | | | | 0,990 | | | |

b)

| i | | $x_1$ / $y_1$ | $x_2$ / $y_2$ | $x_3$ / $y_3$ | $x_4$ / $y_4$ | $x_5$ / $y_5$ | $x_6$ / $y_6$ | $a_1$ | $a_2$ | $x_{j+1}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | x | 0,100 | 5,000 | 10,0 | | | | 1,003 | 0,999 | 10,0 |
| | y | 0,095 | 0,997 | 1,01 | | | | | | |
| 2 | x | | | | 10,0 | | | 1,012 | 1,007 | 10,0 |
| | y | | | | 0,999 | | | | | |
| 3 | x | | | | | 10,0 | | 1,003 | 0,996 | 10,0 |
| | y | | | | | 0,998 | | | | |
| 4 | x | | | | | | 10,0 | 1,002 | 0,997 | |
| | y | | | | | | 1,000 | | | |

c)

| i | | $x_1$ / $y_1$ | $x_2$ / $y_2$ | $x_3$ / $y_3$ | $x_4$ / $y_4$ | $x_5$ / $y_5$ | $x_6$ / $y_6$ | $a_1$ | $a_2$ | $x_{j+1}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | x | 9,000 | 9,500 | 10,0 | | | | 0,996 | 0,987 | 10,0 |
| | y | 0,990 | 0,990 | 1,010 | | | | | | |
| 2 | x | | | | 10,0 | | | 0,997 | 0,986 | |
| | y | | | | 0,990 | | | | | |

**Bild 5.** Verlauf der Versuche bei unterschiedlicher Lage der Punkte des Vorversuchsplanes

a) am unteren Rand, b) über das gesamte Gebiet verteilt, c) am oberen Rand
Für alle drei Fälle gilt:

$\bar{a}_1 = 1$; $\bar{a}_2 = 1$; $x_{min} = 0$; $x_{max} = 10$; $\varepsilon = 10^{-4}$

### Literatur


[1] *Bandemer, H.; Bellmann, A.; Jung, W.; Richter, K.:* Optimale Versuchsplanung. Berlin: Akademie-Verlag 1976.
[2] *Hartmann, K.; Lezki, E.; Schäfer, W.:* Statistische Versuchsplanung und -auswertung in der Stoffwirtschaft. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1974.
[3] *Bieß, G.; Erfurth, H.:* Optimierungsmethoden. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1975.
[4] *Hoffmann, U.; Hofmann, H.:* Einführung in die Optimierung. Stuttgart: Verlag Chemie GmbH 1970.

msr 8046

*G. Lorenz; G. Kettner*[1])

# Zum Entwurf von Mikrorechnerstrukturen zur Versuchsautomatisierung

## 0. Einleitung und Problemstellung

In den letzten Jahren ist ein stark gewachsenes und ständig weiter ansteigendes Interesse an der Realisierung von Einsatzvorhaben zur Automatisierung von experimentellen wissenschaftlich-technischen Untersuchungen zu verzeichnen. Ursache dafür ist neben den Forderungen nach Erhöhung der Effektivität wissenschaftlicher Untersuchungen, die aus der zunehmenden Komplexität der Untersuchungen und der immer geringer werdenden Umschlagzeit wissenschaftlicher Ergebnisse resultieren, vor allem die zunehmende Bereitstellung von Rechentechnik in Form praktikabler kleiner Einheiten mit einem günstigen Preis-Leistungs-Verhältnis, wie sie durch die Mikrorechentechnik realisiert werden können. Damit wird die rechentechnische Basis für die Lösung solcher Aufgaben bedeutend breiteren Kreisen von Nutzern zugänglich, als es bei der bisher zur Verfügung stehenden zentralen Rechentechnik möglich war. Das bewirkte einen großräumigen Durchbruch der Versuchsautomatisierung, der dieses Gebiet immer mehr zu einer selbständigen Richtung der Automatisierungstechnik werden läßt.
Gleichzeitig entwickelt sich damit wegen des gerade bei der Entwicklung von Mikrorechnerstrukturen nicht zu übersehenden Aufwands das Bedürfnis, von der einzelnen maßgeschneiderten Lösung für eine Aufgabenstellung abzugehen und eine methodische Vorgehensweise zur Erzielung der effektivsten Lösung anzustreben. Dies wird dadurch erschwert, daß die Mannigfaltigkeit der Objekteigenschaften, der Zielstellungen und der Mittel und Methoden der Versuchsdurchführung offensichtlich um ein Vielfaches größer ist als bei den entsprechenden Fragestellungen der Prozeßautomatisierung. Auf letzterem Gebiet kann man gegenwärtig auf erprobte Systeme des Strukturentwurfs (z. B. [1]) zurückgreifen. Prozeß- und Versuchsautomatisierung weisen in ihrem Grundanliegen und auch im Charakter der Lösungsstrukturen erhebliche Parallelitäten auf. Dies erlaubt, formale Elemente der Entwurfsmethodik der Prozeßautomatisierung für die Versuchsautomatisierung zu übernehmen. Grundsätzlich unterscheiden sich beide Aufgaben im *Automatisierungsziel*: Dies besteht bei der

- *Prozeßautomatisierung* in der Rationalisierung der Bereitstellung von *Produkten* in vorgegebener Quantität und Qualität
- *Versuchsautomatisierung* in der Rationalisierung der Bereitstellung von *Informationen* in vorgegebener Quantität und Qualität.

Daneben besteht bei beiden Automatisierungsaufgaben als weitere wichtige Zielstellung die Befreiung des Menschen von physiologisch und psychologisch aufwendigen Aktivitäten. Die unterschiedlichen Zielgrößen (Produkte — Informationen) führen allerdings dazu, daß aus der Prozeßautomatisierung übernommene Elemente der Entwurfsmethodik z. T. andere Inhalte bekommen, wie es bei der Betrachtung der im nächsten Abschnitt dargestellten Versuchsautomatisierungsfunktionen deutlich wird.

## 1. Versuchsziele und Versuchsautomatisierungsfunktionen

Gegenstand von wissenschaftlich-technischen Versuchen ist die *Ermittlung* oder *Verifizierung* von *Prozeß-(Objekt-)modellen*.
Dies bedeutet im einzelnen

- Erkennung von *Zusammenhängen* zwischen Zielgrößen und Einflußgrößen des Prozesses (Objektes) (qualitative Modelle)
- Ermittlung *optimaler Werte der Einflußgrößen* bezüglich Zielgrößen des Prozesses (Objektes) (experimentelle Optimierung)
- Ermittlung der *Modellparameter eines gegebenen theoretischen Modells* (Bestimmung oder Überprüfung von Stoffwerten, Leistungs- und Qualitätskennziffern u. a.)
- Überprüfung *theoretischer Modellansätze*
- Ermittlung *experimenteller mathematischer Modelle*.

Dabei wachsen die Ansprüche an die Versuchsvorbereitung, -durchführung und -auswertung etwa in der gewählten Reihenfolge.
Davon ausgehend ergibt sich als modifiziertes Ziel der Versuchsautomatisierung

- Minimierung des Versuchsaufwandes (Versuchsdauer, Zahl der Versuchspunkte, Arbeitskräfte, Aufwendungen für die Versuchseinrichtungen) bei vorgegebener Modellqualität (Modellfehler)
- Minimierung des Versuchsfehlers bei vorgegebenem Aufwand.

Dabei entspricht der üblichen ingenieurmäßigen Vorgehensweise die erste Variante der Formulierung des Ziels der Versuchsautomatisierung am besten. Die Versuchsautomatisierung erlaubt häufig gleichzeitig, das vorgegebene Niveau des Fehlers gegenüber dem bei konventioneller Versuchsdurchführung erreichbaren abzusenken, da bisher nicht zugängliche Möglichkeiten der Informationsbereitstellung erschlossen werden.
Das Ziel wird durch eine weitgehende Übernahme der Aufgaben des Experimentators durch ein geeignetes Automatisierungssystem erreicht. Dies hat folgende *Versuchsautomatisierungsfunktionen* zu realisieren:

- *Versuchsauswertung*
- *Versuchssteuerung* mit den Unterfunktionen
  . Versuchsstabilisierung
  . Versuchsführung
  . Versuchsoptimierung
  . Versuchssicherung.

Das genannte Automatisierungsziel wird durch die Automatisierung der genannten Funktionen in folgender Weise erreicht:

*Versuchsauswertung*:

- Verkürzung der Versuchsdauer durch Reduktion der manuellen Auswertung und kurzfristigen Zugriff zu Zwischenergebnissen
- Verbesserung der Informationsnutzung durch Einsatz leistungsfähigerer (aufwendigerer!) Auswertealgorithmen.

*Versuchssteuerung*:

- Versuchsstabilisierung:
  Reduktion des Versuchsfehlers durch Stabilisierung der Versuchsbedingungen
- Versuchsführung:
  Sicherung eines optimalen Versuchsablaufes durch Realisierung von
  . Zeitplan- und Ablaufsteuerungen
  . optimalen statistischen Versuchsplänen
- Versuchsoptimierung:
  Realisierung des Optimums der Versuchs- oder von Prozeß-(Objekt-)zielgrößen durch
  . *experimentelle Optimierung*: Ermittlung des Extremums einer Zielgröße des Versuchsobjektes durch geeignete Variation der Einflußgrößen (z. B. Methode von *Box/Wilson*)
  . *sequentielle Versuchsplanung*: Minimierung des Versuchsfehlers durch Berechnung und Realisierung der optimalen Lage des aktuellen Versuchspunktes aus vorangegangenen Versuchspunkten.

*Versuchssicherung*:

Vermeidung von Schädigungen des Experimentators, der Versuchseinrichtungen, des Versuchsobjektes und der Umwelt beim Auftreten nichtstabilisierbarer Störsituationen während des Versuchsablaufs.
Die Funktionen der Versuchssteuerung entsprechen vordergründig denen der Prozeßsteuerung. Bei der automatisierten Versuchsstabilisierung, -führung und -sicherung werden auch weitgehend die gleichen funktionserfüllenden Strukturen (unter Beachtung der unterschiedlichen Zielstellungen) eingesetzt. Eine grundsätzlich neue Automatisierungsfunktion, zu der bei der Prozeßautomatisierung nur sehr bedingt eine Parallele zu finden ist, stellt die *Versuchsauswertung* dar.

## 2. Struktur von Automatisierungssystemen zur komplexen Versuchsautomatisierung

Die Lösung der Aufgaben einer durchgehenden Versuchsautomatisierung in Forschungsinstitutionen der industriellen Praxis,

[1]) Doz. Dr. sc. techn. *Gerald Lorenz* (51) studierte von 1951 bis 1959 Physik an der Martin-Luther-Universität Halle. Anschließend Assistent am Institut für Automatisierungstechnik der TH Leuna-Merseburg. Von 1967 bis 1981 wissenschaftlicher Oberassistent im WB Automatisierungstechnik der Sektion Verfahrenstechnik dieser Hochschule. 1981 erfolgte die Berufung zum Hochschuldozenten. 1967 Promotion A auf dem Gebiet der Hochtemperaturmessung, 1980 Promotion B zum Thema „Störgrößenanalyse zur Steuerung komplexer verfahrenstechnischer Systeme". Gegenwärtig Leiter der AG „AVEX" (Automatisierung verfahrenstechnischer Experimente) im WB Automatisierungstechnik.

Dipl.-Ing. *Günter Kettner* (29) studierte von 1976 bis 1981 Verfahrenstechnik an der TH „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg. Seither im WB Automatisierungstechnik wissenschaftlicher Assistent.

| | Automatisierungsobjekt | Aufgabe | Rechentechnik | Kopplung Informationsübertragung |
|---|---|---|---|---|
| III — GR | Forschungsinstitution | Koordinierung der experimentellen und theoretischen Forschung<br>Verwaltung der Forschungsergebnisse (Datenbanken) | zentraler Großrechner | off-line seriell |
| II — PR (MR), PR (MR) | Labor, Prüffeld | Koordinierung der Experimente<br>Simulation<br>Versuchsoptimierung<br>höhere Auswertealgorithmen | zentraler Prozeßrechner (Mikrorechner) | on-line open-loop analog, bitparallel |
| I — MR, MR, MR, MR; Gerät, Gerät, Versuchsanlage, Versuchsanlage | Versuchsanlage, Gerät | Versuchsauswertung<br>Versuchssteuerung | dezentraler Mikrorechner | on-line closed-loop analog |

**Bild 1. Hierarchische Struktur der komplexen Versuchsautomatisierung**

der Hochschulen und Akademien führt zu hierarchischen Rechnerstrukturen, auf deren Ebenen unterschiedliche Fragestellungen mit Rechnern entsprechend differenzierter Leistungsfähigkeit zu realisieren sind (Bild 1). Die den einzelnen Ebenen zuzuordnenden Objektstrukturen ziehen eine grobe Klassifikation von Aufgabenstellungen nach sich, die durch charakteristische Rechnerstrukturen realisiert werden müssen und die einen ersten groben Entwurf des Rechnersystems stützen können:

**Ebene I:**

— *Geräteautomatisierung*
Struktur: Dezentraler Mikrorechner fest (meist in Baueinheit) mit einem hochleistungsfähigen Präzisionsmeßgerät (Analysenmeßgerät) während der gesamten physischen Funktionsdauer gekoppelt.
Einsatzsituation: Auswertung und Steuerung von Routine-Untersuchungen

— (*Versuchs-*) *Anlagenautomatisierung*
Struktur: Dezentraler Mikrorechner, zeitweilig meist über Standardmeßeinrichtungen mit variablen Untersuchungsobjekten gekoppelt
Einsatzsituation: Auswertung und Steuerung zeitlich begrenzter wissenschaftlicher Untersuchungen an (meist) nicht mobilen Untersuchungsobjekten

**Ebene II:**

*Laborautomatisierung*

Struktur: Zentraler Mikrorechner (Prozeßrechner) mit mehreren dezentralen Mikrorechnern bzw. direkt mit mehreren Labormeßgeräten (Versuchsanlagen) hierarchisch oder parallel in einer über längere Zeit festen Konfiguration gekoppelt.
Einsatzsituation: Auswertung, Steuerung und Koordinierung paralleler bzw. komplexer Routineuntersuchungen.

**Ebene III:**

*Institutionsautomatisierung*

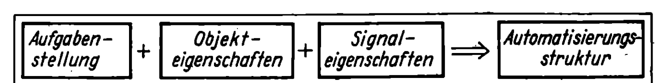
Struktur: Zentraler Großrechner durch Datenendplätze über Datenfernübertragung mit zentralen Rechnern in automatisierten Labors und Versuchsanlagenkomplexen einer Forschungsinstitution operativ verbunden.
Einsatzsituation: Koordinierung und Realisierung der komplexen experimentellen und theoretischen Forschungen sowie Verwaltung der Forschungsergebnisse in Forschungsinstitutionen.
Die Frage der Notwendigkeit einer Entwurfsmethodik zur Rationalisierung des Entwurfsprozesses und zur Erzielung effektiver Lösungen steht in den einzelnen Ebenen mit unterschiedlicher Dringlichkeit: Projekte, die alle drei Ebenen durchgängig realisieren, werden auch in Zukunft nicht Massencharakter annehmen. Die enormen Aufwendungen für die in Ebene III einzusetzenden Großrechner rechtfertigen nur anteilig ihren Einsatz zur Versuchsautoamtisierung. Ihre Auslastung ist meist erst durch die Nutzung als wissenschaftliche Rechner oder/und als Bilanzierungsrechner gegeben. Somit haben die Aufgaben der Versuchsautomatisierung nur bedingt Einfluß auf die Gestaltung der Rechnerarchitektur dieser Rechner.
Damit werden zugeschnittene Lösungen auf dieser Ebene wie auch in der Ebene II stets zu rechtfertigen sein.
Eine Übersicht über Bedingungen, die bei solchen Lösungen zu berücksichtigen sind, ist in [2] zusammengestellt.
Für die Ebene I ist ein methodisches Vorgehen dringend erforderlich und gleichzeitig effektiv. Diese resultiert aus

— dem massenhaften Charakter, den die Versuchsautomatisierung in der Ebene I annimmt. Dies ist bedingt durch die zunehmende Bereitstellung dezentraler Rechentechnik, die bereits in bezüglich der Ebenen II und III autonomer Betriebsweise die häufigsten Aufgaben derVersuchsautomatisierung lösen kann
— der unterschiedlichen Qualifikation des damit sehr stark erweiterten Nutzerkreises, bei dem ausreichende Voraussetzungen zur Entwicklung optimaler Soft- und Hardware für die Versuchsautomatisierung häufig nicht gegeben sind
— der Vielfalt von Versuchsbedingungen und Aufgabenstellungen, mit der der Nutzer durch die unmittelbare Versuchsnähe in der Ebene I konfrontiert wird.

## 3. Zielstellung und Strategie des Entwurfs von Mikrorechnerstrukturen

Das Prinzip des Entwurfs der Automatisierungsstruktur für eine vorgegebene Aufgabenstellung läßt sich durch den im Bild 2 dargestellten einfachen Zusammenhang wiedergeben. Der Entwurf erhält nur dann einen methodischen Charakter, wenn einer überschaubaren Zahl von Klassen von Aufgabenstellungen, Objekteigenschaften und Signaleigenschaften aus einer Auswahl von Automatisierungsstrukturen eine optimale Struktur im Sinne des vorn formulierten Automatisierungsziels zugeordnet werden kann. Dabei ist unter Automatisierungsstruktur die Einheit von *Hardware-* und *Softwarestruktur* zu verstehen. Gegenüber der Prozeßautomatisierung auf der untersten Ebene zeigt die Struktur der Softwarekomponente einen hohen Variantenreichtum, was vor allem aus der Automatisierungsfunktion „Versuchsauswertung" resultiert. Ähnliches gilt für das Spektrum der Aufgabenstellungen, Objekt- und Signaleigenschaften, wodurch die Entwicklung einer Entwurfsmethodik deutlich verkompliziert wird.
Die Aufgabenstellung der Entwicklung einer Entwurfsmethodik bei der Versuchsautomatisierung besteht also in der Herausarbeitung

**Bild 2. Prinzip des Entwurfs von Automatisierungsstrukturen**



**Tafel 1. Wesentliche Merkmale der Aufgabenstellung bei der Versuchsautomatisierung**

| Aufgabenstellung | |
|---|---|
| **Versuchsergebnis** | **Versuchsdurchführung** |
| Modelltyp<br>– Modellqualität (quantitativ-qualitativ)<br>– Modellverhalten (statisch-dynamisch)<br>– Modellbeziehungen (parametrisch-nichtparametrisch)<br>– Parameterverknüpfung (linear-nichtlinear)<br>– Parameterzahl<br>– Variablenzahl | Ablaufregime<br>– Zeitbedingungen (konstant, variabel, Intervalldauern)<br>– Zustandsbedingungen (Verknüpfungsbeziehungen, Aktivierungsbedingungen) |
| | Kommunikationsregime<br>– Informationsinhalt<br>– Informationsrichtung<br>– Informationsfrequenz |
| Modellfehler | Wiederholungsgrad<br>– Routineexperiment<br>– Einzelexperiment (Software-, Hardwarenutzungsfrequenz) |

**Tafel 2. Wesentliche Objekteigenschaften bei der Versuchsautomatisierung**

| Objekteigenschaften | |
|---|---|
| **Untersuchungsobjekt** | **Versuchseinrichtung** |
| Einflußgrößen<br>– Störgrößen (Zahl, Meßbarkeit, Kompensierbarkeit)<br>– Steuergrößen (Zahl, Meßbarkeit) | Wirkungsstrecke<br>– Dynamik<br>– Statik (Linearität, Übertragungsfaktor) |
| Dynamik<br>Statik | Meßeinrichtungen<br>– Dynamik<br>– Statik (Kennlinientyp, Empfindlichkeit, Ausgangsleistung)<br>– Fehler (systematisch, zufällig)<br>– Zuverlässigkeit |
| | Stelleinrichtungen<br>– Dynamik<br>– Statik (Kennlinie, Stelleistung, Hilfsenergie) |

– relevanter Klassen von Aufgabenstellungen, Objekt- und Signaleigenschaften
– relevanter Module der Software- und Hardwarekomponenten der Mikrorechnerstruktur
– des Zusammenhangs zwischen den obigen Klassen und den erforderlichen Modulen der Software- und Hardwarestruktur zur optimalen Realisierung der Aufgabenstellung der Versuchsautomatisierung.

**Tafel 3. Wesentliche Signaleigenschaften bei der Versuchsautomatisierung**

| Signaleigenschaften |
|---|
| Signaltyp<br>– Verlauf (stochastisch – determiniert: periodisch – aperiodisch)<br>– Wertebereich des Informationsparameters (analog – diskret: binär – digital)<br>– Signalträger |
| Signalintensität<br>– Signalamplitude, -streuung<br>– Stör-Nutzsignalverhältnis |
| Signaldynamik |

**Tafel 4. Softwarestruktur bei der Versuchsautomatisierung**

| Softwarebestandteile | |
|---|---|
| **Primäre Datenverarbeitung** | **Versuchsauswertung**<br>– Standardmoduln<br>– proplemspezifische Programme |
| Datenerfassung<br>– ADU-Ansteuerung<br>– Abtastintervall<br>– Datenübernahme<br>– Kodewandlung<br>– Impulszählung | Versuchssteuerung<br>– Datenausgabe<br>– Testsignale<br>– Funktionsgeneratoren<br>– stetige, unstetige Regelungen<br>– logische Operationen<br>– Optimierung<br>– Realisierung von Versuchsplänen |
| Datenaufbereitung<br>– Dimensionierung<br>– Datenordnung<br>– Datenkorrektur<br>– Sinnfälligkeitstest<br>– Datenfilterung<br>– Datensynchronisation<br>– Dateninterpolation | Basisprogramme<br>– Arithmetik<br>– Funktionen<br>– Matrizen<br>– Gerätebedienung<br>– Programmentwicklung |
| Datenverdichtung<br>– Mittelwert<br>– Streuung<br>– Fourier-Analyse<br>– Fourier-Transformation<br>– Autokorrelationsfunktion<br>– Autospektraldichte<br>– Verteilungsdichte | Kommunikation<br>– Programmenue<br>– Dateneingabe<br>– Zustandskontrolle<br>– Operationsanforderung und -realisierung<br>– Ergebnisdarstellung |

**Aufgabenstellung.** Wesentliche Aspekte der Versuchsaufgabenstellung sind in Tafel 1 zusammengestellt. Sie umfaßt danach Vorgaben zum *Versuchsergebnis*, das nach Abschn. 2. im wesentlichen die Form eines qualitativen oder quantitativen Modells mit vorgegebenem Fehler hat. Ebenso sind Elemente der *Versuchsdurchführung*, die durch die Spezifik der Untersuchungsmethoden des jeweiligen wissenschaftlich-technischen Fachgebiets gegeben sind und die vor allem die erforderlichen Manipulationen des Experimentators bestimmen, wesentliche Merkmale der Aufgabenstellung. Sie legen in erster Linie die Aufgaben der automatisierten *Versuchssteuerung* fest. Damit verbunden sind die Anforderungen an die *Kommunikation* des Experimentators mit der Versuchseinrichtung in den verschiedenen Phasen des Versuchs.
Ein weiteres wichtiges Merkmal der Aufgabenstellung ist der Wiederholungsgrad des Versuchs, der Aussagen über die notwendige Variabilität der Soft- und Hardware liefert.
**Objekteigenschaften.** Als Objekteigenschaften (Tafel 2) sind die relevanten Merkmale von *Untersuchungsobjekt* und *Versuchseinrichtung* anzusehen, die Einfluß auf die Struktur des Mikrorechnersystems haben. Dabei stehen das *statische* und *dynamische Übertragungsverhalten* der Elemente im Vordergrund. Bezüglich des Untersuchungsobjekts sind diese das eigentliche Ziel des Experiments. Auch wenn nur ein statisches Modell angestrebt wird, sind Informationen über die Dynamik des Untersuchungsobjektes zur Strukturfestlegung (Abtastzeit, Multiplexer, ADU, Software der primären Datenverarbeitung) erforderlich.
**Signaleigenschaften.** Die Signaleigenschaften (Tafel 3) beziehen sich sowohl auf die Eigenschaften der Signale der *Einflußgrößen*, die bei der Versuchsdurchführung gezielt erzeugt werden, als auch auf die Signale der *Zielgrößen* des Untersuchungsobjekts, die zur Modellbestimmung ausgewertet werden müssen. Eine besondere Rolle spielt dabei das *Stör-Nutzsignalverhältnis*, das in hohem Maße die Auswahl der Software zur Datenaufbereitung und -verarbeitung bestimmt.

## 4. Bestandteile der Mikrorechnerstruktur

Entwurf der Mikrorechnerstruktur heißt Entwurf der *Software-* und *Hardwarestruktur* des Mikrorechnersystems. Geht man von einem hohen Maß von Unifizierbarkeit der Hardware aus, wie sie auf Ebene I der Versuchsautomatisierung nicht nur möglich ist, sondern auch gefordert wird, dann besteht der Entwurf auf dieser Ebene noch stärker als bei der Prozeßautomatisierung vor allem im *Entwurf der Softwarestruktur*.
*Bestandteile der Softwarestruktur.* Eine Übersicht über Strukturelemente der Software für Versuchsautomatisierung zeigt Tafel 4. Voraussetzung für den effektiven Softwarestrukturentwurf ist eine weitgehend *modulare Gestaltung* der Software. Charakteristisch für einen Modul der Versuchsautomatisierung ist

– seine Eignung zur Realisierung von Teillösungen des optimalen Entwurfs für ein oder mehrere relevante Versuchsmerkmale
– seine Nutzbarkeit für eine größere Zahl von Aufgaben der Versuchsautomatisierung.

Während die modulare Gestaltung der Strukturelemente *Datenerfassung, -aufbereitung, -verdichtung* und *Basisprogramme* nahezu

durchgängig möglich ist, enthalten *Versuchsauswertung*, *-steuerung* und *-kommunikation* stets problemspezifische Algorithmen, die sich aus dem besonderen physikalisch-technischen Charakter des Untersuchungsobjekts und der Untersuchungsmethoden herleiten. Beschränkt man sich allerdings auf Versuche innerhalb eines begrenzten Fachgebietes, dann kommt man zu der Feststellung, daß sich auch Auswertung und Steuerung mit einer nicht zu großen Zahl von Algorithmen in hohem Maße modular gestalten lassen.
Solche insbesondere auf dem Gebiet der verfahrenstechnischen und verarbeitungstechnischen Experimentation häufig auftretenden Moduln sind in Tafel 5 zusammengestellt. Eine hohe Problemspezifik weist stets die Struktur der *Kommunikationsprogramme* auf. Definiert man als *Modularitätsgrad* das Verhältnis des durch derartige Standardmoduln belegten Speicherplatzes zum Gesamtspeicherplatz des Programms, so liefert die Analyse einer Reihe von Mikrorechnereinsatzfällen zur Versuchsautomatisierung, daß Modularitätsgrade von 60–70% erreichbar sind.
*Bestandteile der Hardwarestruktur.* Voraussetzung für die Versuchsautomatisierung auf der Ebene I ist ein geeignetes *Basisgerät*, das die wesentlichen Mikrorechnerfunktionen realisiert und eine flexible Auf- und Abrüstung zur Anpassung an unterschiedliche Aufgabenstellungen erlaubt. Ein solches Gerät sichert die Vorzüge der Mikrorechentechnik, die sie gegenüber der zentralen Prozeßrechentechnik auf der Ebene I hat:

- vorteilhaftes Preis-Leistungsverhältnis (Portionierung der zentralen Intelligenz)
- Kompaktheit und Mobilität (dezentrale Installation, kurze Informationswege)
- operativer Zugriff und Verfügbarkeit zu Rechneraktivitäten (keine Rechenzeitverwaltung)
- Informationseingabe/-ausgabe vor Ort (aktuelle Information über Versuchssituation und Möglichkeit operativer Eingriffe unmittelbar am Versuchsstand).

Daraus resultieren die Forderungen an ein solches Basisgerät:

- Kompaktheit mit integrierter Elementarperipherie (Bildschirm, Tastatur, Massenspeicher)
- einfache Erweiterung durch Objektschnittstellen
- einfache Auf- und Abrüstung der internen Speicher
- geringe Abmessungen und Gewicht (transportables Tischgerät),

**Tafel 5. Standardsoftwaremoduln bei der Automatisierung verfahrenstechnischer Experimente**

| Versuchsauswertung (Standardmoduln) | |
|---|---|
| qualitative Modelle | |
| statische Modelle | dynamische Modelle |
| Korrelationsanalyse | Kreuzkorrelationsfunktionen |
| quantitative Modelle | |
| statische Modelle | dynamische Modelle |
| ungestört | |
| – Geradenanstieg (lin., log.)<br>– Schnittpunkt von Geraden<br>– Fläche zwischen Kurven<br>– Funktionsextrema<br>– Wendepunkte<br>– Tangenten<br>– Asymptoten | |
| gestört | |
| – Geradenausgleich<br>– lineare Regression<br>– nichtlineare Regression<br>– rekursive Regression | – Flächen zwischen Kurven<br>– Momente<br>– Frequenzgang<br>– Entfaltung |
| stark gestört | |
| – feste statistische Versuchspläne<br>– sequentielle Versuchspläne | – Methode der kleinsten Quadrate (MKQ)<br>– Verallgemeinerte MKQ<br>– Entfaltung mit optimalen Testsignalen<br>– Frequenzgang mit Korrelationsmethode |

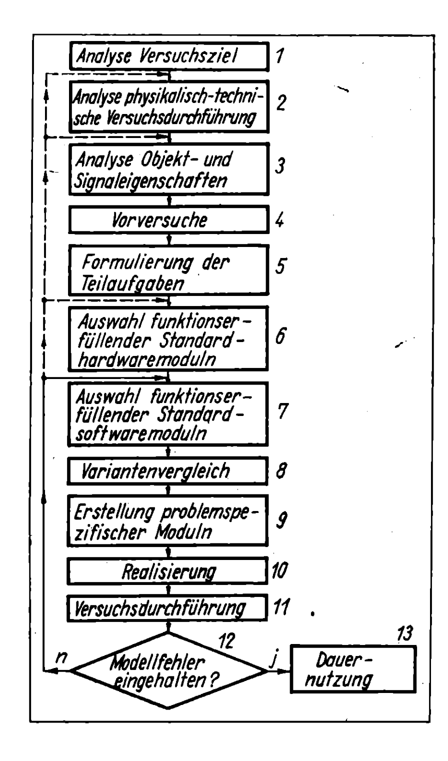



**Bild 3. Ablaufplan für den Entwurf von Mikrorechnerstrukturen zur Versuchsautomatisierung**

die durch Forderungen zur Bereitstellung von integrierter Programmsoftware, Gerätebedienprogramme und andere Elemente des Betriebssystems ergänzt werden.
Damit reduziert sich der Entwurf der Hardwarestruktur auf den Entwurf

- der E/A-Schnittstellen
- der internen und externen Speicher
- des Interfacesystems
- der analogen Informationsein- und -ausgabe
- der Zusatzperipherie (Drucker, Plotter, Schreiber).

Unter den genannten Aspekten hat sich als Basisgerät von den in der DDR gefertigten Mikrorechnersystemen das MC 80 bewährt. In Kopplung mit der programmierbaren Kassettenmagnetbandeinheit K 5221 und einem elektronischen Fernschreiber können eine große Zahl von Aufgaben der Versuchsautomatisierung unabhängig von der Verfügbarkeit über zentrale Prozeßrechentechnik gelöst werden.

## 5. Ablauf des Entwurfsprozesses

Ausgehend von den vorangegangenen Ausführungen gelangt man zu dem im Bild 3 wiedergegebenen Ablauf des Entwurfsprozesses. Für seine optimale Praktizierung müssen folgende Arbeitsmittel bereitgestellt werden:

- Algorithmus zur Versuchsanalyse auf der Basis der Auflistung relevanter Versuchsmerkmale
- Bibliothek relevanter Teilaufgaben der Versuchsautomatisierung
- Bibliothek funktionserfüllender Softwaremoduln (Programmbibliothek AVEX)
- Algorithmus zur Zuordnung von Standardmoduln zu Automatisierungsteilaufgaben.

Die Operationen 1 bis 3 bedeuten damit im wesentlichen die Abfrage der ggf. noch zu ergänzenden Tafeln 1 bis 3 in einer sinnvollen Reihenfolge (Algorithmus Versuchsanalyse). Einige fehlende Objekt- und Signaleigenschaften (Dynamik, Stör-Nutzsignalverhältnis) müssen durch nicht automatisierte Vorversuche bereitgestellt werden (Operation 4). Gestützt durch die Bibliothek „Teilaufgaben der Versuchsautomatisierung" (für Softwarelösungen weitgehend Tafel 5) werden die daraus folgenden Teilaufgaben der Versuchsautomatisierung formuliert. Vor allem die Auswahl der Moduln der Versuchsauswertung erfordert eine breite Übersicht über die Leistungsfähigkeit der bereitgestellten Verfahren. Im Prinzip ist diese Aufgabe identisch mit der Auswahl eines optimalen Verfahrens für die Systemidentifikation. Einem auf diesem Gebiet nicht spezialisierten Projektanten muß durch einen Zuordnungsalgorithmus, der die Spezifika der Einsatzbedingungen berücksichtigt, Unterstützung gegeben werden (Operation 6 und 7). Für die Lösung einer Teilaufgabe, z. B. zur Reduktion des Stör-Nutzsignalverhältnisses, kön-

nen verschiedene Moduln (Hardware-Softwaremoduln, Mondul der Datenaufbereitung, der Steuerung und der Auswertung) prinzipiell geeignet sein.
Die unter den spezifischen Bedingungen mit geringstem Aufwand zu realisierende Variante wird gewählt. Auch hierzu müssen Bewertungskriterien bereitgestellt werden (Operation 8).
Es wird grundsätzlich angestrebt, eine Lösung durch Standardmoduln zu erreichen (Minimierung des Aufwandes!). Eine vollständige Lösung ist auf diese Weise in der Regel nicht möglich, es sind problemspezifische Moduln zu erstellen (Operation 9). Diese realisieren im allgemeinen problemspezifische Modellansätze, Berechnungsvorschriften für Objekt- und Prozeßkenngrößen, Kommunikationsalgorithmen, Steueralgorithmen u. ä. Wegen der Probleme der Bereitstellung von A-priori-Informationen über den Modellfehler sowie der nur größenordnungsmäßig abschätzbaren Wirksamkeit der Algorithmen kann erst nach Realisierung der Struktur und Versuchsdurchführung am gewonnenen Ergebnis die Einhaltung einer ausreichenden Ergebnisqualität geprüft werden.
Bei unzureichender Qualität ist eine Modifizierung der Struktur erforderlich, die im ersten Schritt über wenig aufwendige Standardsoftwareänderungen realisiert werden sollte.

**Literatur**


[1] *Brack, G.:* Entwerfen von Automatisierungsstrukturen. Band 188 der REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK. Berlin: VEB Verlag Technik 1980.
[2] *Böhlert, H.:* Anforderungen der experimentellen technischen Forschung an die Rechentechnik. msr, Berlin 23 (1980) 1, S. 56–59.


msr 8047


*W. Badelt; J. Richter; P. Kowollik*[1])


# Einsatz der Mikrorechnerfamilie K 1600 zur Labor- und Versuchsautomatisierung

## 0. Einleitung

Für die Automatisierung wissenschaftlicher Experimente (AWEX) werden in Labors und Versuchsanlagen in zunehmendem Maße leistungsfähige Klein- und Mikrorechner eingesetzt. Mit Hilfe dieser Technik und ihrer Integration in das Experiment ist es möglich, die gewonnenen Rohinformationen bereits unmittelbar vor Ort auszuwerten und sofortige Eingriffe in den weiteren Ablauf des Experimentes zu unterstützen. Hieraus ergibt sich vielfach ein großer Effektivitätsgewinn im Vergleich zur Off-line-Auswertung der Meßdaten an zentralen Datenverarbeitungsanlagen. Eine möglichst universelle Prozeßperipherie sowie ein komfortables Programmsystem bilden jedoch hierfür wesentliche Voraussetzungen. Von den Nutzern werden dabei insbesondere als Forderungen

- eine leichte Anpaßbarkeit an spezielle bzw. neue Aufgaben
- die Möglichkeit, die erforderliche Einsatzvorbereitung ohne umfangreiche Spezialkenntnisse und Aufwendungen auf dem Gebiet der Programmierung durchführen zu können

erhoben.
In der DDR bietet sich zur Lösung derartiger Aufgaben gegenwärtig vorrangig folgende Basisgerätetechnik an:

- Die Mikrorechnerfamilie (MRF) K 1600 mit umfangreichem Peripheriegerätespektrum und komfortabler Systemsoftware. Anstelle einer systemeigenen Prozeßperipherie wurde für die MRF K 1600 eine Kopplung mit dem freiprogrammierbaren Meßwerterfassungs- und -verarbeitungssystem ursadat 5000 über ein schnelles, serielles Linieninterface vorgesehen. Die damit erforderliche Aufspaltung der problemorientierten Software auf zwei nicht kompatible Systeme genügt jedoch für die AWEX nicht den oben genannten Forderungen nach geringen Aufwendungen im Rahmen der Einsatzvorbereitung.
- Konfigurationen auf der Basis der Systeme K 1520 und ursadat 5000. Im Vergleich zur MRF K 1600 ist hier die Leistungsfähigkeit der verfügbaren Datenverarbeitungsperipherie und Systemsoftware vielfach unzureichend.

Aus dieser Situation heraus wurde am Wissenschaftsbereich Regelungstechnik und Prozeßsteuerung der Sektion Informationstechnik an der TU Dresden in Zusammenarbeit mit dem Kombinat Robotron auf der Basis der Module des Systems ursadat 5000 ein Prozeß-Eingabe/Ausgabe-Subsystem (PEAS) für die MRF K 1600 entwickelt und als Erprobungsmuster realisiert, das die genannten Mängel vermeidet und mit geringem zusätzlichem Aufwand Einsatzmöglichkeiten für diese Mikrorechnerfamilie in der Klein- und Laborautomatisierung eröffnet.
Dem Nutzer steht damit für unterschiedliche Zielstellungen eine niveaugestufte Technik zur Verfügung. Während Aufgaben niederen Niveaus beispielsweise durch Konfigurationen mit Rechnern der Serie K 1000 (Tischrechner), MC 80 oder A 5120 (Bürocomputer) erfüllbar sind, werden Ansprüche höheren Niveaus durch die MRF K 1600 mit PEAS dann besonders ökonomisch erfüllt, wenn ein Rechner der MRF K 1600, der zur Lösung von Aufgaben der AWEX dient, zusätzlich für weitere, auch anders geartete Aufgaben, genutzt wird.

## 1. Prozeß-Eingabe/Ausgabe-Subsystem für Meßwerterfassung und Experimentesteuerung

Das entwickelte Prozeß-Eingabe/Ausgabe-Subsystem für die MRF K 1600 wurde als weitgehend autonome und absetzbare Funktionseinheit konzipiert. Das angewendete Kopplungsprinzip (Bild 1) ermöglicht im Unterschied zur standardmäßigen seriellen Kopplung eine unmittelbare Reaktion des Rechners auf alle Ereignisse des über die Prozeß-Eingabe/Ausgabe-Module (PEAM) angeschlossenen Experimentes. Der Datenaustausch zwischen PEAS und Rechner wird dabei über den im Bild 1 angedeuteten, für beide Systeme gemeinsam nutzbaren Speicherbereich der zugehörigen Anschlußsteuerung realisiert. Die bei diesem Prinzip erreichbare Übertragungsgeschwindigkeit ist im wesentlichen von der Befehlsausführungszeit der entsprechenden

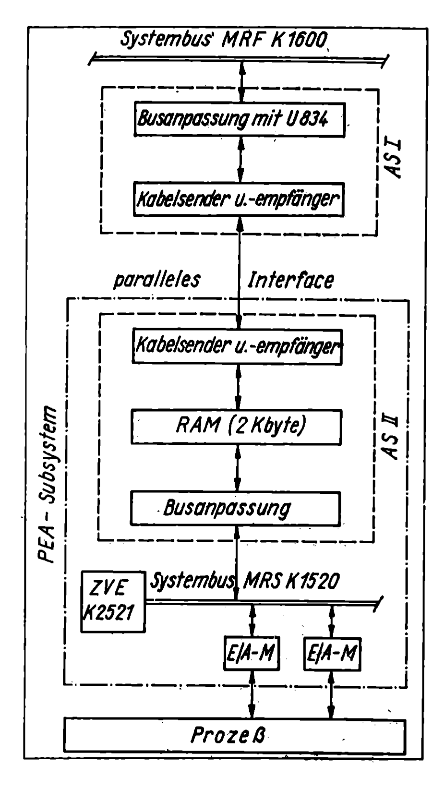



**Bild 1. Kopplung zwischen Prozeß-Eingabe/Ausgabe-Subsystem und Rechner über eine zweiteilige Anschlußsteuerung (AS)**

---

[1]) Dr.-Ing. *Wolfgang Badelt* (42) studierte von 1960 bis 1966 Regelungstechnik an der TU Dresden. Von 1966 bis 1967 Projektierungsingenieur im VEB GRW Teltow. Von 1967 bis 1972 als wissenschaftlicher Assistent und seither als wissenschaftlicher Oberassistent am WB Regelungstechnik und Prozeßsteuerung der Sektion Informationstechnik der TU Dresden tätig. 1973 Promotion A auf dem Gebiet der Systemidentifikation.

Dipl.-Ing. *Joachim Richter* (28) studierte von 1975 bis 1979 Regelungstechnik an der TU Dresden. Seither als wissenschaftlicher Assistent am WB Regelungstechnik und Prozeßsteuerung der Sektion Informationstechnik der TU Dresden tätig.

Dipl.-Ing. *Peter Kowollik* (50) studierte von 1953 bis 1957 Elektrotechnik. Anschließend im VEB Energieversorgung Dresden und seit 1963 im Zentralinstitut für Automatisierung bzw. Institut für Datenverarbeitung bzw. ZFT Robotron tätig, jetzt als Fachkomplexleiter.

Transportoperationen abhängig und beträgt maximal 0,5 Mbyte/s. Zur Synchronisation des Rechners mit den Abläufen im PEAS (bzw. umgekehrt) sind in dem parallelen Interface (16 Datenbit) 4 Steuersignale für gegenseitige Unterbrechungsanforderungen vorgesehen. Über eine integrierte rechentechnische Verarbeitungseinheit auf der Basis des Mikroprozessors U 880 und einem entsprechenden Steuerprogramm, das eine Speicherkapazität von 3 Kbyte ROM- und 3 Kbyte RAM-Speicher erfordert, ist das PEAS in der Lage, folgende Grundfunktionen zu übernehmen:

- Steuerung der PEAM und des Datenaustausches mit dem Rechner auf der Grundlage programmierbarer Kommandos
- Vorbehandlung von Unterbrechungsanforderungen der PEAM und Meldung an den Rechner
- Verminderung der Echtzeitanforderungen an den Rechner durch Zwischenspeicherung von Meßdaten und Meldungen
- Synchrone Meßwerterfassung analoger Signale mit programmierbarer Zeitbasis im Bereich von 0,1 ms bis 200 min
- Automatische Fehlerdiagnose.

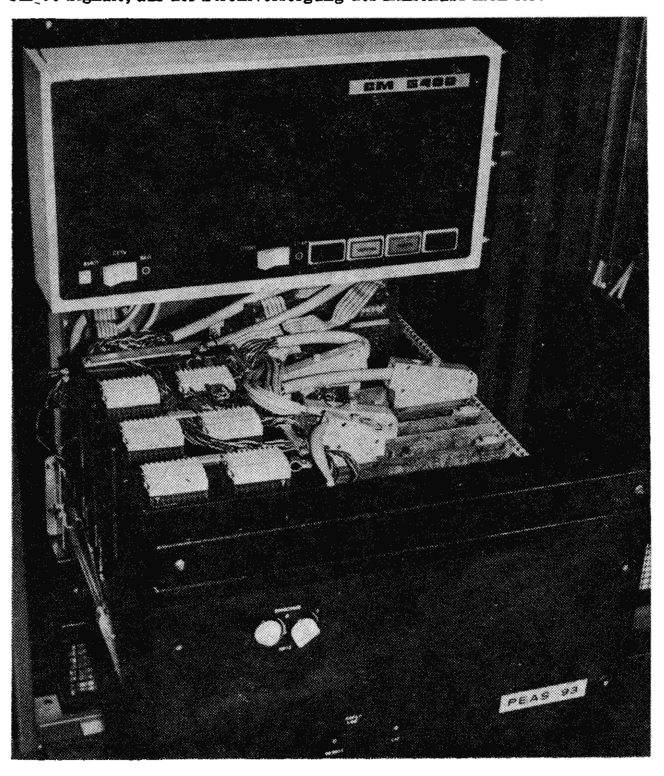
Konstruktiv ist das PEAS als 19-Zoll-Elektronikeinschub (Bild 2) ausgeführt und paßt sich damit in das Gefäßsystem der MRF K 1600 sowie anderer Rechner des SKR ein. Ebenso ist aber auch die Unterbringung in einem EGS-Gehäuse neben dem Rechner (z. B. reduzierte ursadat-5000-Grundeinheit) möglich. Ein derartiges PEAS verfügt über 22 freie Steckplätze für PEAM (vielfach entspricht ein PEAM des Systems ursadat 5000 einer Steckeinheit), deren Konfiguration weitestgehend frei wählbar ist. Das rechnerseitige Interface der PEAM ist mit dem Systembus des Mikrorechnersystems K 1520 im wesentlichen identisch. Eigenentwicklungen an PEAM, die die daraus resultierenden Bedingungen erfüllen, sind deshalb gleichfalls einsetzbar.
Im Rahmen des Systems ursadat 5000 stehen als Eingabe/Ausgabe-Module folgende Grundtypen zur Verfügung:

- Analogeingabe (12 bit Auflösung, max. 56 Kanäle multiplex, Umsetzzeit 0,1 ms)
- Analogausgabe (10 oder 8 bit Auflösung)
- Inkrementaleingabe (als Impulszähler, Frequenzmesser, Zeitmesser programmierbar)
- Inkrementalausgabe (als Impulszahlausgabe oder Impulszeitausgabe programmierbar)
- Digitaleingabe (statisch/dynamisch)
- Digitalausgabe (statisch/dynamisch).

Dieses Modulspektrum sowie der mit dem PEAS realisierbare Umfang (22 Steckplätze) des Prozeßinterfaces ist für viele Anwendungsfälle der AWEX ausreichend.

**Bild 2. Konstruktive Ausführung des Prozeß-Eingabe/Ausgabe-Subsystems als 19"-Elektronikeinschub**

rechts: Kassette mit Modulen des Systems ursadat 5000; links: Rangierverteiler für 60 Signale, auf der Stromversorgung des Einschubs montiert




Softwareseitig ist das PEAS über ein speziell auf dieses Gerät zugeschnittenes Bedienprogramm in das Betriebssystem MOOS 1600 eingebunden. Das Bedienprogramm hat die Aufgabe, die durch die Anschlußsteuerung vorgegebene Hardwareschnittstelle des PEAS auf die im Betriebssystem MOOS 1600 standardisierte Softwareschnittstelle umzusetzen und damit den Nutzer von speziellen Kenntnissen zum PEAS zu entlasten.
Die durch Nutzerprogramme aktivierbaren Hauptfunktionen dieses Gerätebedienprogramms sind:

- einfache, interruptgesteuerte oder zeitsynchrone Eingabe/Ausgabeoperationen mit dem PEAS
- schnelle Auswertung von Interruptanforderungen der PEAM und Benachrichtigung entsprechender Nutzerprogramme
- Übertragung von Datenblöcken zwischen Rechner und einem zur Zwischenspeicherung von Meßwerten als Option projektierbaren RAM-Speicher.

Diese Leistungen des Gerätebedienprogramms können über entsprechende Unterprogramme neben der Assemblersprache mit geringen Einschränkungen auch über die höheren Programmiersprachen CDL und FORTRAN und mit stärkeren Einschränkungen über die Interpretersprache BASIC aufgerufen werden.
Unter der Voraussetzung einer Zwischenspeicherung der Daten im PEAS sind bei der Abtastung analoger Signale Abtastraten bis zu 30 kHz (schneller Analog-Digital-Umsetzer erforderlich) und bei schritthaltender Übertragung der Daten in den Arbeitsspeicher des Rechners Abtastraten bis zu 1 kHz realisierbar.
Aufbauend auf den Leistungen der maschinenorientierten Softwarekomponenten wurden Softwaremodule für die Meßwerterfassung und Primärdatenverarbeitung entworfen. Die Module sind in einer Bibliothek zusammengefaßt und realisieren u. a. folgende Funktionskomplexe

- Meßwerterfassung für analoge Signale im Zeitmultiplex-Betrieb
- Konvertierung der Meßwerte in das Gleitkommaformat (4 byte) mit Dimensionierungsmöglichkeiten und Sinnfälligkeitstest
- Test der Meßwerte auf die Einhaltung von 4 Bereichsschranken und 2 Tendenzwertschranken bei wählbarer Zeitkonstante für ein temporäres digitales Filter
- Verarbeitungsmodule für den Aufbau einfacher digitaler Regler und Filter.

Zur unmittelbaren Bedienerkommunikation mit dem PEAS sowie zur Unterstützung bei

- Inbetriebnahme, Initialisierung und Test der PEAM
- Test von Programmen hinsichtlich der Prozeßkommunikation
- einfachen Aufgaben der Meßwerterfassung mit Darstellung oder Speicherung der Daten

wird dem Anwender ein spezielles Dienstprogramm LIO 1600 zur Verfügung gestellt.
Im Zeitraum IV/83 bis I/84 erfolgte die Industrieerprobung für die Softwarekomponenten Gerätebedienprogramm und Primärdatenverarbeitung unter Nutzung von Funktionsmustern für die Anschlußsteuerung und das PEAS.

## 2. Modulbibliothek zur Meßwertverarbeitung und Signalanalyse

Mit dem vorläufigen Ziel der Ermittlung erster Einsatzerfahrungen zur beschriebenen Gerätetechnik und den zugehörigen maschinenorientierten Softwarekomponenten wurde mit der Bearbeitung von Problemen der Signalanalyse begonnen. Die dazu nutzbare Hardwarekonfiguration besteht aus einem Mikrorechnersystem K 1620 mit Kassettenplattenspeicher, Drucker, Terminal, Kassettenmagnetbandeinheit, Lochbandeinheit und PEAS. Das PEAS ist zur Kopplung mit einem Analogrechner im wesentlichen mit Modulen zur Ein- und Ausgabe analoger Signale bestückt.
Die Anwendung von Verfahren zur Signalanalyse ist in der Regel mit hohen Forderungen an Speicherkapazität und Verarbeitungsgeschwindigkeit verbunden. Mikrorechner können diese Voraussetzungen nur bedingt erfüllen, jedoch werden ihre Einsatzmöglichkeiten durch niedriges Preis-Leistungsverhältnis, gute Verfügbarkeit, prozeßnahe Installierbarkeit sowie speziell auf die Belange dieser Technik zugeschnittene Algorithmen begünstigt. Bei der Konzeption eines geeigneten Softwarepaketes wurde diesen Erfordernissen durch

- Nutzung des Kassettenplattenspeichers zur Datenspeicherung bzw. Auslagerung

- Konzentration auf blockweise rekursive sowie rechenschnelle Algorithmen
- Implementierung kritischer Modulteile in Assemblersprache bei ausschließlicher Anwendung der hardwaremäßig direkt ausführbaren Festkommaoperationen
- wahlweise Abspeicherung der Ausgangsdaten auf dem Eingangsdatenfeld (in-place-computation)

Rechnung getragen.

Das Kernstück des Programmpaketes bilden die als Unterprogramme organisierten Module für die Berechnung nachfolgender Kennwerte und -funktionen aus den den zeitlichen Verlauf einer physikalischen Größe repräsentierenden Eingangsdaten:

- Mittelwert, Varianz, Streuung
- eindimensionale Verteilungsdichtefunktion
- Auto- und Kreuzkorrelationsfunktion
- Auto- und Kreuzleistungsspektrum
- Amplitudenspektrum.

Der Ausführung der diskreten Fourier-Transformation kommt innerhalb des Programmpaketes eine zentrale Bedeutung zu. Diese Operation ist jedoch bei größeren Stützstellenzahlen $N$ äußerst rechenintensiv. Für die Realisierung einer „Schnellen Fourier-Transformation" wurde aus diesem Grund der Algorithmus nach *Cooley* und *Tukey* genutzt, der eine Verminderung der Zahl notwendiger Additionen und Multiplikationen von $N^2$ auf $N \cdot \mathrm{ld}\, N$ gestattet.
Die Berechnung von Leistungsdichtespektrum oder Leistungsspektrum erfolgt wahlweise auf direktem Weg über die Fourier-Transformierte der Zeitfunktion oder wegen der besseren statistischen Eigenschaften durch Fourier-Transformation der Korrelationsfunktion (Wiener-Chinchine-Theorem).
Für den praktischen Einsatz erfordern die genannten Verfahren i. allg. eine geeignete Vorbehandlung des Datenmaterials mit dem Ziel, die im wesentlichen durch endliche Abtastfrequenz sowie endliche Stützstellenzahl verursachten systematischen Fehler zu verringern. Übliche Methoden zur Verringerung der systematischen und zufälligen Fehler sind digitale Filterung der Eingangsdaten und/oder deren Multiplikation mit einem Zeitfenster. Im Programmpaket sind hierfür die Module Dreieckfenster, Fenster mit wählbarer Endeglättung und lineare Differenzengleichung enthalten.
Ergänzt wird das Programmpaket durch Module für:

- Datendarstellung
- Berechnung definierter Datenfelder
- Rettung und Rückspeicherung von Datenfeldern.

Alle Module sind in Form externer Subroutinen in der Programmiersprache FORTRAN 1600 und der Assemblersprache MACRO 1600 aufrufbar. Sie sind im Rahmen von Objektbibliotheken zusammengefaßt und stehen in dieser Form dem Nutzer zur Verfügung. Die hierfür notwendigen Operationen werden vom Programmverbinder des Betriebssystems MOOS 1600 übernommen. Im Rahmen einer weiteren Ausbaustufe wird insbesondere die Veränderbarkeit programmierter Modulparameter während der Laufzeit des fertigen Programms angestrebt.

### Zusammenfassung

Die hier vorgestellten ergänzenden gerätetechnischen Mittel zur Realisierung eines Prozeßinterface für die Mikrorechnerfamilie K 1600 (Prozeß-Eingabe/Ausgabe-Subsystem einschließlich Anschlußsteuerung) erweitern die Einsatzmöglichkeiten der MRF K 1600 auf die Automatisierung wissenschaftlicher Experimente. Zugehörige maschinen- und problemorientierte Softwarekomponenten gestatten Meßwerterfassung und Experimentesteuerung auf dem Niveau der Programmiersprache FORTRAN IV. Speziell für ausgewählte Grundfunktionen der Signalanalyse wurden die problemorientierten Softwarekomponenten um ein Modulsystem erweitert, das zum großen Teil auch unabhängig von der genannten Gerätetechnik genutzt werden kann. Ausbau und Verbesserung der problemorientierten Software sind Gegenstand weiterer Arbeiten.

### Literatur


[1] *Meiling, W.; Töpfer, H.; Hörig, H.-J.:* Laborautomatisierung. Tagungsmaterial, Jahrestagung der WGMA. Dresden: 1980.
[2] *Töpfer, H.; Fuchs, H.; Willem, H.:* Moderne gerätetechnische Mittel und ihre Konsequenzen für neue Automatisierungskonzepte. msr, Berlin 23 (1980) 1, S. 2–10.
[3] *Böhlert, H.:* Zum Wechselverhältnis zwischen Anforderungen und Realisierungen bei der Automatisierung wissenschaftlich-technischer Experimente durch rechentechnische Ressourcen. msr, Berlin 26 (1983) 1, S. 5–9.
[4] *Badelt, W.; Richter, J.:* Mikrorechnerfamilie K 1600 mit PEA-Subsystem für die Labor- und Kleinautomatisierung. Preprints des 27. Internationalen Wissenschaftlichen Kolloquiums der TH Ilmenau 1982. Reihe A1/H2.
[5] *Richter, J.:* Anwendung von Prozeß- und Mikrorechnern zur Laborautomatisierung. Forschungsbericht, TU Dresden, Sektion 9, 1982.


msr 8043


*M. Uhlmann*[1])


# Zur Fehlerabschätzung bei linearen Gleichungssystemen

Im Zusammenhang mit der Fehlerbetrachtung bei linearen, inhomogenen Gleichungssystemen interessiert die bestehende Systematik der Fehlerfortpflanzung.
Die $n$ Werte $x_1, x_2, \dots, x_n$ unterschiedlicher Meßgrößen seien durch ein System von $n$ linearen Gleichungen mit $n$ Unbekannten $c_1, c_2, \dots, c_n$ verbunden:

$$\boldsymbol{x} = \boldsymbol{A}\boldsymbol{c}\,. \tag{1}$$

Bekanntlich folgt unter der Voraussetzung, daß die Determinante der in der Meßtechnik als Kalibrierungsmatrix zu bezeichnenden Matrix $\boldsymbol{A}$ nichtsingulär ist, d. h., daß

$$|A| = \det \boldsymbol{A} = |a_{ij}| \neq 0$$

gilt, für die Unbekannten $c_k$, $k = 1, 2, \dots, n$ nach der Cramerschen Regel

$$c_k = \frac{|A_k|}{|A|}\,, \tag{2}$$

wobei die Zählerdeterminante $|A_k|$ aus $|A|$ dadurch entsteht, daß die $k$-te Spalte von $|A|$ durch den Spaltenvektor $\boldsymbol{x}$ ersetzt wird.
$c_k$ ist eine Funktion der $n^2$ Elemente $a_{ij}$ sowie der $n$ $x$-Werte:

$$c_k = c_k(a_{11}, a_{12}, \dots, a_{nn}, x_1, x_2, \dots, x_n)\,. \tag{3}$$

Es werde angenommen, daß die Werte $a_{ij}$ und $x_l$ entsprechend der meßtechnischen Realität mit den Fehlern $\Delta a_{ij}$ und $\Delta x_l$ behaftet sind, wobei die Fehlerbeträge klein sein sollen gegen die zugehörigen Beträge der $a_{ij}$ und $x_l$. (4)
Aus Gründen einer vereinfachten und verständlichen methodischen Darstellung soll die Betrachtung auf vermutbare systematische Fehler beschränkt werden. Die Übertragung auf zufällige Fehler bzw. Meßunsicherheiten ist daraus ableitbar.
In diesem Sinne wird nach den zu erwartenden Fehlern $\Delta c_k$ der $n$ Unbekannten gefragt.
Aus (3) folgt wegen (4) formal

$$c_k \cong \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \frac{\partial c_k}{\partial a_{ij}} \Delta a_{ij} + \sum_{l=1}^{n} \frac{\partial c_k}{\partial x_l} \Delta x_l\,, \tag{5}$$

wobei weiterhin das Istzeichen als Definition für die $\Delta c_k$ verwendet wird.
Entsprechend (3) ergeben sich

$$\Delta c_k = \frac{1}{|A|} \Delta |A_k| - \frac{|A_k|}{|A|^2} \Delta |A|$$

$$= \frac{1}{A} (\Delta |A_k| - c_k\, \Delta |A|) \tag{6}$$

sowie

$$\frac{\Delta c_k}{c_k} = \frac{\Delta |A_k|}{|A_k|} - \frac{\Delta |A|}{|A|} = \frac{1}{|A|} \left( \frac{1}{c_k} \Delta |A_k| - \Delta |A| \right). \tag{7}$$

Aus (5) läßt sich unschwer die Struktur der zunächst noch nicht definierten Ausdrücke $\Delta|A_k|$ und $\Delta|A|$ ableiten: $\Delta|A_k|$ ist die Summe von $n$ Determinanten, deren Summanden $|A_k^m|$, $m = 1, 2, \dots, n$, dadurch gebildet werden, daß man in $|A_k|$ nacheinander die 1. bis $n$-te Spalte durch die zugehörigen $\Delta$-Werte ersetzt!

---

[1]) Prof. Dr. rer. nat. habil. *Manfred Uhlmann* (56) studierte von 1948 bis 1950 Physik und Geophysik an der Universität Leipzig und von 1950 bis 1952 Geophysik an der Bergakademie Freiberg. Von 1952 bis 1956 dort Assistent am Institut für Theoretische Physik und Geophysik. Von 1956 bis 1972 in der Arbeitsgruppe Bergbaugeophysik des Kaliforschungsinstitutes bzw. des Direktionsbereiches Forschung im VEB Kombinat Kali, Sondershausen tätig. 1956 Promotion zum Dr. rer. nat., 1969 Habilitation an der Bergakademie Freiberg. 1972 Berufung zum ordentlichen Professor für Betriebsmeßtechnik an die TH „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg. Seither dort mit verschiedenen Leitungsfunktionen im WB Automatisierungstechnik der Sektion Verfahrenstechnik tätig.

Entsprechendes gilt für $\Delta|A|$.
Es ist also

$$\left.\begin{aligned} \Delta|A_k| &= \sum_{m=1}^{n} |A_k^m|\,, \\ \Delta|A| &= \sum_{m=1}^{n} |A^m|\,, \end{aligned}\right\} \qquad (8)$$

wobei eine Verwechslung des oberen Index $m$ mit einem Exponenten wohl auszuschließen ist.
Da sich die Determinanten-Summanden nach den jeweiligen $\Delta$-Spalten entwickeln lassen, kann man für (8) auch schreiben [1]

$$\Delta|A_k| = |A_{k,11}|\,\Delta z_{11} + |A_{k,12}|\,\Delta z_{12} + \dots + |A_{k,nn}|\,\Delta z_{nn}\,. \qquad (9)$$

Hierin ist $|A_{k,pq}|$ das zum Element $z_{pq}$ der Determinante $|A_k|$ gehörige algebraische Komplement mit $p = 1, 2, \dots, n$; $q = 1, 2, \dots, n$.
Es gilt $z_{pq} = a_{pq}$ bzw. $\Delta z_{pq} = \Delta a_{pq}$ für $q \neq k$ und $z_{pq} = x_p$ bzw. $\Delta z_{pq} = \Delta x_p$ für $q = k$.
Für $\Delta|A|$ folgt vereinfacht

$$\Delta|A| = |A_{11}|\,\Delta a_{11} + |A_{12}|\,\Delta a_{12} + \dots + |A_{nn}|\,\Delta a_{nn} = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} |A_{ij}|\,\Delta a_{ij}\,, \qquad (10)$$

wobei $|A_{ij}|$ das zum Element $a_{ij}$ der Determinante $|A|$ gehörige algebraische Komplement bezeichnet.
Die getroffene Aussage soll am Beispiel eines inhomogenen, linearen Gleichungssystems mit $n = 3$ Unbekannten verdeutlicht werden. Gegeben sind die 9 Werte $a_{ij}$ und die 3 Werte $x_1$, $x_2$, $x_3$ sowie die zugehörigen Fehler $\Delta a_{ij}$ und $\Delta x_1$, $\Delta x_2$, $\Delta x_3$.
Es ist

$$|A| = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}.$$

Die nach (3) für die Unbekannte $c_1$ zu bestimmende Determinante $|A_1|$ ist

$$|A_1| = \begin{vmatrix} x_1 & a_{12} & a_{13} \\ x_2 & a_{22} & a_{23} \\ x_3 & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}.$$

Die zur Berechnung des absoluten Fehlers $\Delta c_1$ nach (6) oder des relativen Fehlers $\Delta c_1/c_1$ nach (7) erforderlichen Ausdrücke bzw. Zahlenwerte $\Delta|A_1|$ und $\Delta|A|$ nehmen folgende Formen an:

$$\Delta|A_1| = \begin{vmatrix} \Delta x_1 & a_{12} & a_{13} \\ \Delta x_2 & a_{22} & a_{23} \\ \Delta x_3 & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} x_1 & \Delta a_{12} & a_{13} \\ x_2 & \Delta a_{22} & a_{23} \\ x_3 & \Delta a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} x_1 & a_{12} & \Delta a_{13} \\ x_2 & a_{22} & \Delta a_{23} \\ x_3 & a_{32} & \Delta a_{33} \end{vmatrix}.$$

$$\Delta|A| = \begin{vmatrix} \Delta a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ \Delta a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ \Delta a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} a_{11} & \Delta a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & \Delta a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & \Delta a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \Delta a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & \Delta a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & \Delta a_{33} \end{vmatrix}.$$

Die erkannte Gesetzmäßigkeit erleichtert eine entsprechende Fehlerabschätzung und systematisiert die Vorgehensweise.

**Literatur**


[1] *Zurmühl, R.:* Matrizen. Berlin/Göttingen/Heidelberg: Springer-Verlag 1950.


msr 8048

# Industrierobotersteuerungen



Ein spezialisiertes Bedienpult (Bild 4.6) ermöglicht eine einfache Mensch-Maschine-Kommunikation. Kommandos werden über Funktionstasten eingegeben, wobei einige Tasten doppelt belegt sind und Tastenkombinationen Anwendung finden.

Die Editor- und Funktionskommandos sind als Softkeys realisiert und geben die Möglichkeit, ein Anwenderprogramm zu überprüfen und gegebenfalls zu ändern. Die drei STOP-Betriebsarten haben entweder einen direkten Zugriff zur Servoebene oder werden über die Softwate realisiert.
Zum Verringern der Ausfallzeiten, zur Sicherheit des Bedienpersonals sowie zum Schutz des Industrieroboters selbst sind Diagnose- und Überwachungsfunktionen in der Systemsoftware vorgesehen. Das Steuersystem erkennt Defekte in den Meßwertgebern und in den Zuleitungen. Die Maschinendaten (z. B. IR-Steuerkonstanten) sind im RAM-Speicher eingeschrieben und so den aktuellen Parametern der Servoventile anpaßbar. Die Betriebssicherheit ist auch durch Überprüfung der Speicherbausteine (PROM und RAM) gewährleistet. Treten Fehler auf, wird in einem Notprogramm die gesamte Anlage stillgelegt [3].

### 4.4. *Beschreibung der IR-Sprache in Backus-Naur-Form*

⟨ZIFFER⟩ ::= 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9
⟨ZAHL⟩ ::= ⟨ZIFFER⟩ | ⟨ZAHL⟩ ⟨ZIFFER⟩
⟨GRUPPE⟩ ::= ⟨ZIFFER⟩
⟨SIGNALE⟩ ::= {⟨ZIFFER⟩}
⟨CODE⟩ ::= VEL | ACC | POS | POSR | TIM | SUB | NEXT
⟨ZUSTANDSCODE⟩ ::= OUT[F] | WAI[F] | REAC
⟨ANWEISUNG1⟩ ::= ⟨CODE⟩ ⟨ZAHL⟩ E
⟨ANWEISUNG2⟩ ::= ⟨ZUSTANDSCODE⟩ [0] ⟨GRUPPE⟩ ⟨SIGNALE⟩ E
⟨UNBEDINGTE ANWEISUNG⟩ ::= ⟨ANWEISUNG1⟩ ⟨ANWEISUNG2⟩
⟨BEDINGTE ANWEISUNG⟩ ::= ⟨SKP⟩ [0] ⟨GRUPPE⟩ ⟨SIGNALE⟩ E
⟨ANWEISUNG⟩ ::= ⟨UNBEDINGTE ANWEISUNG⟩ | ⟨BEDINGTE ANWEISUNG⟩
⟨ZYKLUSANFANG⟩ ::= CYC ⟨ZAHL⟩ E
⟨ZYKLUSRUMPF⟩ ::= ⟨ANWEISUNG⟩ | ⟨ZYKLUSRUMPF⟩ ⟨ANWEISUNG⟩| ⟨ZYKLUSRUMPF⟩ ⟨ZYKLUS⟩
⟨ZYKLUSENDE⟩ ::= ⟨UNBEDINGTE ANWEISUNG⟩ CEND E
⟨ZYKLUS⟩ ::= ⟨ZYKLUSANFANG⟩ ⟨ZYKLUSRUMPF⟩ ⟨ZYKLUSENDE⟩
⟨PROGRAMMNAME⟩ ::= PROG ⟨ZAHL⟩ E
⟨PROGRAMMRUMPF⟩ ::= ⟨ANWEISUNG⟩ |⟨PROGRAMMRUMPF⟩ ⟨ANWEISUNG⟩| ⟨PROGRAMMRUMPF⟩ ⟨ZYKLUS⟩
⟨PROGRAMMENDE⟩ ::= ⟨UNBEDINGTE ANWEISUNG⟩ NEXT ⟨ZAHL⟩ E EXIT
⟨PROGRAMM⟩ ::= ⟨PROGRAMMNAME⟩ ⟨PROGRAMMRUMPF⟩ ⟨PROGRAMMENDE⟩

Anmerkungen:

1. Die Bezeichnungen sind wie folgt zu verstehen:
   [ ] — unverbindliches Element
   { } — Konkatenation
   E, EXIT — Terminalsymbole (Begrenzer, Anweisungsende, Programmende)
2. Nicht zu vergessen sind auch die Raumpunkte, die durch indirektes Teach-In gespeichert und mit Hilfe von POS oder POSR adressiert werden.

Tafel 4.1 zeigt die Belegung einzelner Bedientasten. Mit Hilfe der Kommandos 5; 6; 5, 12; 7; 7, 12; und 8, 12 werden 1 bis 8 Signale (PF) in den entsprechenden Zustand gesetzt, oder es wird ihre Konjunktion überprüft.

### 4.5. *Anwendungsbeispiel der PC 501*

Es ist ein asynchrones IR-System zur Beschickung von zwei numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen (NCM) dargestellt, wobei eine Werkstückpufferung vorausgesetzt wird. Bild 4.7 zeigt schematisch die Anordnung.

Die Nutzungsverluste der Gesamtanlage gehen bei der vorgegebenen asynchronen Verkettung nur dann über die durchschnittlichen Verluste der Einzelstationen hinaus, wenn die Stillzeiten so lange dauern oder so häufig auftreten, daß die Puffer dies nicht mehr auffangen können.

**Tafel 4.1. Belegung einzelner Bedientasten**

| Nummer | Kodezeichen | Operand | Bedeutung |
|---|---|---|---|
| | | Raumbewegungen | |
| 1 | POS | $1 \div 999$ | Punktpositionierung |
| 2 | VEL | $1 \div 8$. | Geschwindigkeitsangabe |
| 3 | ACC | $1 \div 8$ | Beschleunigungsangabe |
| 4 | POSR | $1 \div 999$ | Punkt durchfahren |
| | | Umwelt- und Programmsynchronisation | |
| 5 | OUT | $1 \div 8\ \{1 \div 8\}_1^8$ | Ausgabe von „0" oder „1" Signalen |
| | CUT0 | $1 \div 8\ \{1 \div 8\}$ | |
| 6 | REAC | $1 \div 8\ \{1 \div 8\}$ | Antwort auf asynchrone „0" oder „1" |
| | REAC0 | $1 \div 8\ \{1 \div 8\}$ | Signale |
| 5 12 | OUTF | $1 \div 8\ \{1 \div 8\}$ | Programmflag (PF) in „0" bzw. „1" Zu- |
| | OUTF0 | $1 \div 8\ \{1 \div 8\}$ | Zustand setzen |
| 7 | SKP | $1 \div 8\ \{1 \div 8\}$ | Nächsten Befehl bei logischer Bedingung |
| | SKP0 | $1 \div 8\ \{1 \div 8\}$ | „0" bzw. „1" der Eingangssignale überlesen |
| 7, 12 | SKPF | $1 \div 8\ \{1 \div 8\}_1^8$ | Nächsten Befehl bei logischer Bedingung |
| | SKPF0 | $1 \div 8\ \{1 \div 8\}$ | „0" bzw. „1" im PF überlesen |
| 8, 12 | WAI | $1 \div 8\ \{1 \div 8\}$ | Abwarten des „0" bzw. „1" Zustandes des |
| | WAI0 | $1 \div 8\ \{1 \div 8\}$ | Eingangssignals |
| | | Steuerung der Anwenderprogramme | |
| 8 | TIME | $1 \div 4095$ | Zeitspanne abwarten |
| 9 | CYC | $1 \div 4095$ | Zählerzyklus |
| 10 | SUB | $1 \div 64$ | Unterprogrammaufruf |
| 11 | NEXT | $1 \div 64$ | Nächstes Programm |

**Signale:** *Eingänge*:
1; 1 — NCM1 ist frei
1; 2 — NCM2 ist frei
1; 3 — Werkstück in der Eingabestation (Puffer)
2; 1 — Arbeitsende der NCM1
2; 2 — Arbeitsende der NCM2

*Ausgänge*:
1; 6 — Start der NCM1
1; 7 — Start der NCM2
1; 8 — Start der Ausgabestation (Puffer)

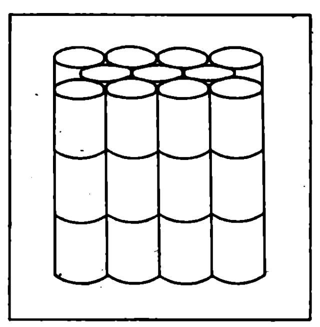


**Bild 4.6. Bedientafel der Industrierobotersteuerung PC 501**

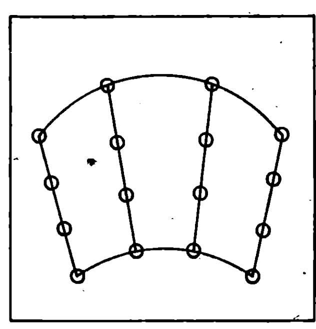


**Bild 4.7. Asynchrone Beschickung von 2 NC-Maschinen**

*Wichtiger Hinweis:* Infolge eines bedauerlichen Fehlers wurden in den Beiträgen 18 (msr, Berlin 27 (1984) 4, S. 177—178) und 19 unserer Fortsetzungsreihe die Bilder den Bildunterschriften falsch zugeordnet.
Die richtige Zuordnung muß lauten: Bild (B) 4.1. → Bildunterschrift (BU) 4.6.; B 4.2. → BU 4.7.; B 4.3. → BU 4.1.; B 4.4. → BU 4.2.; B 4.5. → BU 4.3.; B 4.6. → BU 4.4; B 4.7. → BU 4.5.
Wir bitten um Entschuldigung. *Red.*

*Programmflags*: 1; 1 — NCM1 ist gestartet
1; 2 — NCM2 ist gestartet
1; 3 — Werkstück ist hingelegt

Das „;"-Zeichen dient zur besseren Veranschaulichung der Programme, ist aber kein Sprachsymbol. Der technologische Vorgang wird durch folgende Programme beschrieben:

| | |
|---|---|
| PROG1 | Anfangsinitialisierung |
| PROG2 | Steuerprogramm |
| PROG10 | Werkstückabnahme von der Eingabestation (Puffer) |
| PROG11 | Beschickung der NCM1 |
| PROG12 | Werkstückabnahme von der NCM1 |
| PROG20 | Werkstückeinlegen in die Ausgabestation (Puffer) |
| PROG21 | Beschickung der NCM2 |
| PROG22 | Werkstückabnahme von der NCM2 |

Inhaltlich entsprechen die Programme 21 und 22 den Programmen 11 und 12, wobei die Raumpunkte und die Signal- und Flagnummer sich voneinander unterscheiden.

```
PROG1
1/ OUTFØ    1; 1, 2
2/ OUTF     1; 3
3/ NEXT     2

PROG2
1/ SKPØ     1; 1, 2   Sind NCM1 und NCM2 besetzt?
2/ SUB      1Ø        NEIN
3/ SKPFØ    1; 1      Ist NCM1 gestartet?
4/ SUB      12                                 JA
5/ SKPFØ    1; 2      Ist NCM2 gestartet?
6/ SUB      22                                 JA
7/ NEXT     2

PROG1Ø
1/ SKP      1; 3      Ist ein Werkstück in der Eingabestation?
2/ NEXT     1Ø                                 NEIN
3/ VEL      8         Transportgeschwindigkeit „8"
4/ ACC      8         Transportbeschleunigung „8"
5/ POSR     1         Anfahrposition/Greifer „OFF"
6/ POS      2         Entnahme/Greifer „ON"
7/ POSR     3         Abfahren/Greifer „ON"
8/ OUTFØ    1; 3      Flag „Werkstück entnommen"
9/ SKPØ     1; 1      Ist NCM1 frei?
10/SUB      11                                 JA, Beschik-
                                               kung von NCM1
11/SKPFØ    1; 3      Ist das Werkstück zurückgelegt?
12/NEXT     1Ø                                 JA
13/SUB      21                                 NEIN, Beschik-
                                               kung von NCM2
14/NEXT     1Ø

PROG11
1/ POSR     1         NCM1 anfahren/Greifer „ON"
2/ VEL      4         Geschwindigkeit „4"
3/ ACC      5         Beschleunigung „5"
4/ POS      2         Beschickung von NCM1/Greifer „OFF"
5/ POSR     3         Abfahren/Greifer „OFF"
6/ OUT      1; 6      NCM1 gestartet
7/ OUTF     1; 1, 3   Flag „NCM1 gestartet"
8/ NEXT     11

PROG12
1/ SKPØ     2; 1      NCM1 — Arbeitsende?
2/ NEXT     12                                 NEIN
3/ POSR     1         NCM1 anfahren/Greifer „OFF"
4/ POS      2         Werkstück abnehmen/Greifer „ON"
5/ POSR     3         Abfahren/Greifer „ON"
6/ SUB      2Ø        Ablegen in die Ausgabestation (Puffer)
7/ OUTFØ    1; 1      Der Flag „NCM1 gestartet" wird zurück-
                      gesetzt
8/ NEXT     12

PROG2Ø
1/ VEL      8         Transportgeschwindigkeit „8"
2/ ACC      8         Transportbeschleunigung „8"
3/ POSR     1         Ausgabestation anfahren/Greifer „ON"
4/ POS      2         Ablegen/Greifer „OFF"
5/ POSR     3         Abfahren/Greifer „OFF"
6/ OUT      1; 8      Ausgabestation (Puffer) starten
7/ NEXT2Ø
```

Die Punkte mit den Nummern 1, 2 und 3 bei den Positionierungsbefehlen in den Programmen 11 und 12 entsprechen gleichen Positionen mit verschiedenen Greiferzuständen.

**Literatur**


[1] *Ararew, P.*: Industrieroboterprachen — Entwicklungen und Tendenzen. Wissenschaftliche Zeitschrift der bulgarischen Aspiranten und Studenten in der DDR. Ilmenau 1984.

[2] *Dotschew, D.* u. a.: ESOP — Esik sa opisanie na upravlenieto v diskretni sistemi. Sbornik dokladi na Naucnata sessija po slučaij denja na radioto, T. I (ESOP — eine Sprache zur Steuerungsbeschreibung bei diskreten Systemen. Vortragsband I der wissenschaftlichen Konferenz anläßlich des Tages des Rundfunks). Sofia 1977.

[3] Rukowodstwo sa operatora na PC 501 (Bedienungsanleitung PC 501) 1980.



msr 7680 Dipl.-Ing. *P. Ararew* und Dr.-Ing. *D. Dotschew*, Bulgarische Akademie der Wissenschaften, Institut für technische Kybernetik und Robotertechnik, Sofia


(wird fortgesetzt)

# Erweiterte Betrachtung zum Zählfehler bei Digitalmessungen

## 0. Einleitung

In [1] wurde das Problem des Zählfehlers bei digitalen Zeitmessungen unter der Voraussetzung wiederholbarer Messungen bei zeitlicher Konstanz der zu bestimmenden Zeitdauer untersucht. Der systembedingte statische Meßfehler, der sich in einer statistischen Unsicherheit der letzten Ziffer des Zählresultates äußert, ist für die Unsicherheit des Meßergebnisses stets dann von praktischem Interesse, wenn

$$\frac{1}{f_N} = T_N \ll T_x \tag{1}$$

$f_N$ Zählfrequenz; $T_N$ zugehörige Periodendauer; $T_x$ Wert der zu bestimmenden Zeitdauer

nur unvollkommen erfüllt ist. Bei Vernachlässigung der Zählimpulsbreite läßt sich das Ergebnis der in [1] durchgeführten Betrachtung wie folgt zusammenfassen:

Bezeichnet

$$\left.\begin{aligned} &T_x = (n + k)\, T_N = T'_x T_N\,. \\ &n \geqq 0\,,\quad \text{ganzzahlig;}\quad 0 \leqq k < 1 \end{aligned}\right\} \tag{2}$$

den wahren Wert des zu bestimmenden Zeitintervalls, so ist die Wahrscheinlichkeit, $n$ Impulse der Dauer $T_N$ zu zählen, $P(n) = (1 - k)$; die Wahrscheinlichkeit, $(n + 1)$ Impulse zu zählen, ist $P(n + 1) = 1 - P(n) = k$.

Der Mittelwert aus $m$ durchgeführten Wiederholungsmessungen, die entweder das Zählergebnis $n$ oder das Zählergebnis $(n + 1)$ liefern, ist mit der zugehörigen Stichprobenunsicherheit eine Näherung für den Erwartungswert von $T_x$ bzw. $T'_x$.

## 1. Erweiterung der vorliegenden Ergebnisse

Die in [1] durchgeführte Betrachtung soll nachfolgend erweitert und damit verallgemeinert werden für den Fall, daß auf die Voraussetzung der Konstanz des Meßwertes für die Dauer von $m$ Wiederholungsmessungen verzichtet wird.

Es wird angenommen, daß $m$ wahre Meßwerte $T_{xi}$ vorliegen, die nicht notwendig identisch sind.

Es sei

$$\left.\begin{aligned} &T_{xi} = (n_i + k_i)\, T_N = T'_{xi} T_N\,. \\ &n_i \geqq 0\,,\quad \text{ganzzahlig;}\quad 0 \leqq k_i < 1 \end{aligned}\right\} \tag{3}$$

Es wird danach gefragt, in welcher Weise der das Wertekollektiv der Größen $T'_{x1}, T'_{x2}, \ldots, T'_{xm}$ repräsentierende Mittelwert (Erwartungswert)

$$\overline{T'_x} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} T'_{xi} \tag{4}$$

durch den Mittelwert der zugehörigen Zählergebnisse

$$\bar{z} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} z_i \tag{5}$$

angenähert wird.

Aus (3) und (4) folgt

$$\overline{T'_x} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} n_i + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} k_i\,. \tag{6}$$

Die jeweilige Impulszählung ergibt statt

$$\begin{array}{lll} T'_{x1} = n_1 + k_1 & \text{entweder} & n_1 \text{ oder } n_1 + 1 \\ T'_{x2} = n_2 + k_2 & \text{entweder} & n_2 \text{ oder } n_2 + 1 \\ \vdots & & \vdots \\ T'_{xm} = n_m + k_m & \text{entweder} & n_m \text{ oder } n_m + 1\,. \end{array}$$

Die untere Grenze des durch Zählung bestimmten Mittelwertes ist

$$\bar{z}_u = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} n_i\,.$$

Die obere Grenze des durch Zählung bestimmten Mittelwertes ist

$$\bar{z}_0 = \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} n_i\right) + 1\,.$$

Aus

$$\sum_{i=1}^{m} k_i < m \quad \text{(siehe (3))}$$

folgt

$$\bar{z}_u \leqq \overline{T'_x} < \bar{z}_0\,.$$

Es ist nun zu erwarten, daß von den $m$ durchgeführten Zählungen $m_1$ den jeweiligen $n$-Wert und $m_2$ den jeweiligen $(n + 1)$-Wert ergeben mit $m_1 + m_2 = m$.

$$\left.\begin{aligned} &h_1 = \frac{m_1}{m} \quad \text{und} \quad h_2 = \frac{m_2}{m} \\ &h_1 + h_2 = 1 \end{aligned}\right\} \tag{7}$$

seien die zugehörigen relativen Häufigkeiten.

Es soll eine Umnumerierung der Zählwerte dergestalt durchgeführt werden, daß in der ersten Gruppe in beliebiger Reihenfolge alle $n$-Zählwerte im Umfang $m_1$ und in der zweiten Gruppe in beliebiger Reihenfolge alle $(n + 1)$-Zählwerte im Umfang $m_2$ auftreten. Mit dieser Festlegung folgt

$$\begin{aligned} \bar{z} &= \frac{1}{m}\left(\sum_{i=1}^{m_1} n_i + \sum_{i=m_1+1}^{m} (n_i + 1)\right) \\ &= \frac{1}{m}\left(\sum_{i=1}^{m} n_i + m_2\right) \\ &= \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} n_i + \frac{m_2}{m} \\ &= \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} n_i + h_2\,. \end{aligned} \tag{8}$$

(8) beschreibt den Sachverhalt der Zählpraxis.

Andererseits ist nach [1] die Wahrscheinlichkeit dafür, bei $T'_{xi} = n_i + k_i$ den Zählwert $n_i$ zu erhalten: $P(n_i) = (1 - k_i)$, die Wahrscheinlichkeit dafür, den Wert $(n_i + 1)$ zu messen:

$$P(n_i + 1) = k_i\,.$$

Der Erwartungswert für die Zählsumme ist

$$\begin{aligned} E\left(\sum_{i=1}^{m} z_i\right) &= \sum_{i=1}^{m} (n_i(1 - k_i) + (n_i + 1)\, k_i) \\ &= \sum_{i=1}^{m} n_i + \sum_{i=1}^{m} k_i\,. \end{aligned}$$

Weiterhin gilt:

$$E\left(\frac{1}{m}\, y\right) \quad \text{mit} \quad y = \sum_{i=1}^{m} z_i$$

$$\begin{aligned} E\left(\frac{1}{m}\, y\right) &= \frac{1}{m} E(y) = \frac{1}{m} E\left(\sum_{i=1}^{m} z_i\right) \\ &= \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} n_i + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} k_i \\ &= \overline{T'_x}\,. \end{aligned} \tag{9}$$

Es ist nach (9) $\frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} k_i$ die Wahrscheinlichkeit dafür, daß bei $m$ Messungen der Zählfall $(n + 1)$ auftritt, $h_2$ ist nach (7) und (8) die zugehörige relative Häufigkeit für dieses Zufallsereignis.

Wegen

$$\lim_{m \to \infty} h_2 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} k_i \tag{10}$$

wird schließlich mit (6) und (8)

$$\lim_{m \to \infty} \bar{z} = \overline{T'_x}\,. \tag{11}$$

Es ist also bis auf die durch die Endlichkeit von $m$ gegebene Stichprobenunsicherheit der mittlere Zählwert mit dem Erwartungswert identisch.

Für alle $k_i = k =$ konst. und alle $n_i = n =$ konst. geht die getroffene Aussage in die Beweisführung nach [1] über. Die Ermittlung des Konfidenzintervalles kann entsprechend [1] erfolgen.

**Zusammenfassung**

Der bei digitalen Zeitintervallmessungen auftretende Zählfehler wurde bei Vorliegen eines als Stichprobe aufzufassenden Kollektivs von nicht notwendig gleichen, analogen Meßwerten im Hinblick auf eine vorausgesetzte, nichtvernachlässigbare Abweichung der analogen Einzelwerte von der Ganzzahligkeit der verfügbaren Zählimpulsdauer bezüglich der Repräsentanz des Mittelwertes der Einzelergebnisse für den Erwartungswert der analogen Größen untersucht. Der durch Zählung bestimmte Mittelwert ist bis auf die Stichprobenunsicherheit mit dem Erwartungswert identisch.

**Literatur**

[1] *Uhlmann, M.*: Zum Problem des Zählfehlers bei wiederholenden Digitalmessungen. msr, Berlin 22 (1979) 11, S. 626–630.

msr 8051 Prof. Dr. rer. nat. habil. *M. Uhlmann*, TH „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg, Sektion Verfahrenstechnik, WB Automatisierungstechnik

# Adaptive Temperatursteuerung mit Mikrorechner

## 1. Problemstellung

Für die automatische Kontaktierung mikroelektronischer Bauelemente mittels Aufschmelzlöten ist eine Temperatursteuerung erforderlich, die mit einem Mikrorechner K 1520 realisiert werden kann.

Als Kontaktierwerkzeug wird eine Bügelelektrode [1] verwendet. Die Heizung der Elektrode erfolgt durch Stromimpulse mit Hilfe eines Schweißtransformators. Zur Energiebegrenzung dient eine elektronische 2-Zeitensteuerung [2]. Die Temperatur wird mit einem Thermoelement (NiCr/Ni) gemessen, das sich direkt auf der Bügelelektrode befindet und eine Empfindlichkeit von 0,04 mV/K hat. Ein Gleichspannungsverstärker verstärkt die entstehende Thermospannung, die ein A/D-Wandler in einen Digitalwert umsetzt, den der Mikrorechner einliest. Als A/D-Wandler wird der Schaltkreis C 520 D verwendet und entsprechend [3] an den K 1520 gekoppelt.

Zur Einstellung des Heizstroms bietet die elektronische 2-Zeitensteuerung 2 Möglichkeiten:

- Einstellung der Stromflußzeit
- Begrenzung des Effektivwerts durch Phasenanschnitt.

Voruntersuchungen ergaben, daß die optimale Zeit $t_{opt} = 100$ ms (5 Perioden) beträgt. Dieser Wert wird fest eingestellt. Eine weitere Beeinflussung kann nur noch über den Phasenanschnitt erfolgen. Das bestimmende Glied der Steuerstrecke ist ein Triac, der entsprechend der gewählten Größe des Phasenanschnitts zu einem bestimmten Zeitpunkt einen Zündimpuls erhält und bei jedem Nulldurchgang der Spannung, also nach jeder Halbwelle, wieder gesperrt wird. Durch eine geringfügige Schaltungsänderung kann der Zündimpuls auch von außen eingespeist werden und so die Steuerung durch den Mikrorechner erfolgen. Zur Synchronisation zwischen 2-Zeitensteuerung und Mikrorechner ist es möglich, von der 2-Zeitensteuerung einen Startimpuls zu Beginn der 1. Periode abzunehmen. Eine weitere Synchronisation bei jedem Nulldurchgang der Spannung kann bei dieser Steuerung nicht erfolgen. Um die gewünschte Temperatur der Bügelelektrode zu erhalten, gibt der Mikrorechner nach dem Startimpuls Zündimpulse ab, die dem gewählten Phasenanschnitt entsprechen. Dazu bestimmt er die Zeit für den 1. Impuls und gibt die weiteren nach jeweils 10 ms, also nach jeweils einer Halbwelle, aus. Dadurch soll ein gleichbleibender Phasenanschnitt erreicht werden. Es ergaben sich jedoch folgende Schwierigkeiten:

- Bedingt durch Fertigungsunterschiede der Elektroden ist der Zusammenhang zwischen Phasenanschnitt und erreichbarer Temperatur nicht bei jeder Elektrode gleich. Er müßte bei jedem Werkzeugwechsel empirisch neu bestimmt werden.
- Das durch die hohen Ströme in der Elektrode entstehende elektrische Feld verfälscht die Thermospannung. Die Temperatur kann erst nach Beendigung der Heizung gemessen werden, ein Abbruch bei Erreichen der gewünschten Temperatur ist somit nicht möglich.
- Änderungen der Netzfrequenz haben einen sehr großen Einfluß auf die Heizleistung.

Beispiel: Bei einer Verringerung der Netzfrequenz um 1% von $f = 50$ Hz auf $f = 49{,}5$ Hz verlängert sich die Periodendauer von $T_{50} = 20$ ms auf $T_{49,5} = 20{,}2$ ms. Wurde ein Phasenanschnitt $\eta = 80\%$ bestimmt, so gibt der Mikrorechner nach einer Verzögerungszeit $t_z = 8$ ms den ersten Zündimpuls und die folgenden nach jeweils $T_{50}/2 = 10$ ms aus. Dadurch verringert sich der Phasenanschnitt systematisch (bei der 10. Halbwelle wird nur noch ein Wert von $\eta = 70\%$ erreicht), und die Heizleistung vergrößert sich von 100% auf 158%.

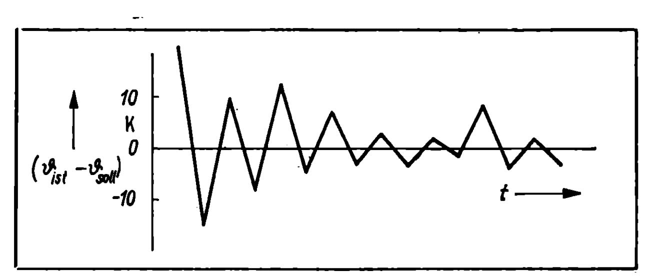



Bild. Temperatursteuerkurve

## 2. Steuerprinzip

Das Steuerungsprogramm muß die genannten Störfaktoren berücksichtigen und deren Einfluß weitestgehend ausschalten. Dazu sollen folgende Überlegungen vorausgesetzt werden:

1. Bei Werkzeugwechsel ist es durchaus vertretbar, einige Probekontaktierungen im Handbetrieb durchzuführen, bevor wieder im automatischen Ablauf gearbeitet wird. Gleiches gilt für Produktionsbeginn nach längeren Unterbrechungen.
2. Änderungen der Netzfrequenz vollziehen sich relativ langsam, sie werden als Drifterscheinungen betrachtet. Eine Überwachung durch den Mikrorechner soll vermieden werden.
3. Die erreichbare Temperatur ist neben der Heizleistung auch von der Ausgangstemperatur abhängig, der Zusammenhang zwischen gewünschter Temperaturdifferenz und Heizleistung ist in 1. Näherung linear.
4. Für das Kontaktierverfahren Aufschmelzlöten muß kein konstanter Temperaturwert erreicht, sondern ein bestimmter Temperaturbereich eingehalten werden.

Von diesen Voraussetzungen ausgehend wurde ein einfaches, sehr wirkungsvolles Steuerungsprinzip entwickelt. Zunächst muß für den interessierenden Bereich der Zusammenhang zwischen Temperaturdifferenz und Phasenanschnitt empirisch bestimmt werden. Die entstehende Tabelle wird im RAM des Mikrorechners gespeichert.

Vor jeder Kontaktierung wird die Ausgangstemperatur der Bügelelektrode gemessen. Dann wird die Differenz zur Solltemperatur ($\vartheta_{soll}$) errechnet, in der Tabelle der entsprechende Wert für den Phasenanschnitt gesucht und der Heizvorgang ausgelöst. Nach Beendigung des Heizens wird die erreichte Temperatur ($\vartheta_{ist}$) gemessen und mit dem Vorgabewert verglichen. Je nach erhaltener Differenz erfolgt eine Korrektur der Tabelle. Dabei gibt es verschiedene Möglichkeiten:

- Die Solltemperatur wurde erreicht – es erfolgt keine Veränderung der Tabelle
- Die Abweichung ist „geringfügig" – es wird der verwendete Tabellenwert korrigiert
- Es besteht eine „große" Abweichung – die gesamte Tabelle wird angeglichen.

Die Entscheidung, was unter einer „geringfügigen" und was unter einer „großen" Abweichung verstanden wird, muß je nach Einsatzfall getroffen werden. Die Korrektur erfolgt so, daß bei zu hohen Temperaturen der Phasenanschnitt vergrößert wird und umgekehrt.

Der Mikrorechner baut sich aus der Anfangsbelegung eine den konkreten Bedingungen angepaßte Tabelle der Phasenanschnitte auf. Aufgrund der verschiedenen Korrekturregeln geschieht das in wenigen Schritten, je nach Güte der Anfangswerte. Die Tabelle wird weiterhin ständig aktualisiert, so daß Drifterscheinungen ausgeglichen werden.

## 3. Auswertung

Es wurde eine Temperaturregelung nach dem beschriebenen Prinzip der Tabellenmodifikation aufgebaut. Für die Erzeugung der Phasenanschnittzeit wurde ein CTC-Kanal verwendet. Damit betrug die erreichbare Temperaturabstufung $\Delta\vartheta_s = 9$ K. Die Solltemperaturen waren $\vartheta_{soll} = 400$ °C ... 500 °C. Die Temperaturmeßanordnung hatte eine Genauigkeit von $\Delta\vartheta_m = 2{,}5$ K.
Nach Inbetriebnahme der Steuerung zeigte es sich, daß nach einigen größeren Schwankungen die Temperaturen sich schnell dem Sollwert näherten und weiterhin um diesen im Bereich von $\Delta\vartheta = \pm 10$ K pendelten. Das Bild zeigt einen typischen Verlauf. Die vorher aufgetretenen sehr starken Drifterscheinungen infolge von Frequenzänderungen konnten nicht mehr beobachtet werden. Nach längeren Betriebspausen oder nach Werkzeugwechsel kann erneut ein Einschwingvorgang auftreten.

Das vorgestellte Steuerungsprinzip zeichnet sich durch einen geringen Aufwand an zusätzlich erforderlicher Gerätetechnik und durch einfache Programme aus. Es kann dort eingesetzt werden, wo sich verändernde Beziehungen zwischen gesteuerter Größe und Steuergröße bestehen.

### Literatur


[1] Bügelelektrode zum Simultanlöten. DD-WP Nr. 147636, Int. Cl. B 23 K 3/04, 1979.
[2] Bedienungsanleitung der elektronischen 2-Zeitensteuerung, Typ E 0241, Typ E 0341, Baureihe ELTROS II. VEB Lokomotivbau Elektrotechnische Werke „Hans Beimler" Hennigsdorf 1976.
[3] *Scheuschner, D.*: A/D-Wandler C 520 D mit U 880 gekoppelt. radio, fernsehen, elektronik, Berlin 31 (1982) 6, S. 384.



msr 8057 Dipl.-Ing. *Th. Büttner*, TU Dresden, Sektion Elektronik-Technologie und Feingerätetechnik, Bereich Elektronik-Technologie.


# Einfache Stationaritätsbedingungen und Abschätzungen der Leistungsfähigkeit von störanfälligen Bedienungssystemen

## 1. Abgrenzung der Aufgabe

Es werden Bedienungssysteme mit störanfälligen und instandsetzbaren Kanälen untersucht. Das System bestehe aus $s$ parallel angeordneten, identischen, gleich erreichbaren Kanälen und einem unbegrenzten/begrenzten Stauraum. Der Forderungsstrom sei homogen.

## 2. Allgemeine Stationaritätsbedingung für ein störanfälliges Wartesystem (mit unbegrenztem Stauraum)

Forderungen und Bedienungsintensitäten $\lambda_B$ und $\mu_B$ seien unabhängige Zufallsgrößen. Die Kanalzahl $s$ werde durch Ausfälle zeitweise reduziert. Dann erreicht das Wartesystem ein stationäres Regime, wenn gilt:

$$E(\varrho_B) < E(S) \quad \text{mit} \quad \varrho_B = \lambda_B/\mu_B; \qquad 0 \leqq E(S) \leqq s\,. \quad (1)$$

$\lambda_B$ und $\mu_B$ als Zufallsgrößen aufzufassen, ist besonders in störanfälligen Systemen wegen der in praxi meist einsetzenden Steuerungsmaßnahmen sinnvoll.
Für Systeme mit begrenztem Stauraum existieren für jeden stationären Input auch stationäre Zustandswahrscheinlichkeiten [1], so daß keine besonderen Stationaritätsbedingungen angegeben werden müssen.

## 3. Stationaritätsbedingung eines s-kanaligen Wartesystems

Die Lebens- bzw. Instandsetzungsdauern seien $\lambda_Z$- bzw. $\mu_Z$-exponentialverteilt. Jeder Kanal nehme die Zuverlässigkeitszustände „intakt" oder „ausgefallen" an (Bild).

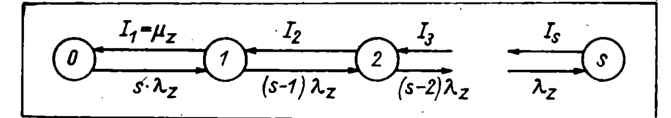



**Bild. Markov-Graph des s-kanaligen Bedienungssystems mit r Instandhaltern $1 \leqq r \leqq s$**
$I_j = \min(r, j) \cdot \mu_Z$; $1 \leqq j \leqq s$

Die stationären Zustandswahrscheinlichkeiten $P_j$ ($j$ Anzahl der Ausfälle im System) lauten:

$$P_j = \prod_{k=1}^{j} \frac{(s-k+1)\,\lambda_Z}{I_k} \cdot P_0\,, \quad (2)$$

mit

$$P_0^{-1} = 1 + \sum_{j=1}^{s} \prod_{k=1}^{j} \frac{(s-k+1)\,\lambda_Z}{I_k}\,, \quad (2a)$$

$$I_k = \min(r, k) \cdot \mu_Z\,. \quad (2b)$$

Damit wird

$$E(S) = \sum_{j=0}^{s} (s-j) \cdot P_j\,. \quad (3)$$

Bedingung (1) mit (3) ist hinreichend. Für belastungsabhängige Lebensdauern ist sie schärfer als notwendig.

## 4. Durchsatz von störanfälligen Bedienungssystemen

### 4.1. *Druchsatz eines s-kanaligen Systems*

Unter den Voraussetzungen des Abschn. 1. gilt [2]:

$$EL_+^{(s)} = E(\lambda_B)\,(1 - P_{verl}^{(s)})\,. \quad (4)$$

$P_{verl}^{(s)}$ Verlustwahrscheinlichkeit im $s$-kanaligen System
$EL_+$ Erwartungswert der Leistung bzw. Durchsatz.

### 4.2. *Durchsatz eines Wartesystems*

$$EL_+^{(s)} = E(\lambda_B)\,, \quad (5)$$

sofern (1) eingehalten ist. Falls (1) nicht erfüllt ist, gilt:

$$EL_+^{(s)} = E(S \cdot \mu_B)\,. \quad (5a)$$

### 4.3. *Durchsatz eines Verlustsystems*

Es gelten (4) und (6). Das Verfahren für ein $M/G/s/0$-System ist in [2] und [4] vollständig beschrieben. In [4] sind $P_{verl}^{(s-j)}$ die Erlangschen Verlustwahrscheinlichkeiten, in [2] wird zusätzlich Ausschußproduktion zugelassen.

### 4.4. *Durchsatz eines Warte/Verlustsystems*

Es gilt:

$$EL_+ = \sum_{j=0}^{s} (EL_+^{(s-j)}) \cdot P_j\,. \quad (6)$$

Für ein $M/M/s/l$-System sind die $P_{verl}^{(s-j)}$ bei $\varrho_B \leqq s - j$ schnell aus Tafeln, z. B. [3], abgelesen. Für $\varrho_B > s - j$ gilt nach [5] auch bei noch so großem $l$:

$$P_{verl}^{(s-j)} \geqq 1 - \frac{s-j}{\varrho_B}\,; \qquad \varrho_B > s - j\,. \quad (7)$$

### Literatur


[1] *Lisek, B.*: Existenz, Eindeutigkeit und Stabilität von Bedienungsprozessen. Dissertation A, Humboldt-Universität zu Berlin 1979.
[2] *Fischer, K.; Hertel, G.*: Das Leistungsverhalten von im Störungsfall Ausschuß produzierenden Maschinen. Hebezeuge und Fördermittel, Berlin 23 (1983) 6, S. 178–183.
[3] *Krampe, H.; Kubat, J.; Runge, W.*: Bedienungsmodelle. Ein Leitfaden für Praktiker. Berlin: Verlag Die Wirtschaft 1974.
[4] *Fischer, K.; Hertel, G.*: Zuverlässigkeitstheorie und leistungsorientierte Systeme. msr, Berlin 25 (1982) 7, S. 377–380.
[5] *Hertel, G.*: Überlastbarkeit von Warte-Verlust-Systemen. msr, Berlin 26 (1983) 5, S. 261–265.



msr 8027 Dr.-Ing. *G. Hertel*, Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List" Dresden, WB Theoretische Grundlagen der Technologie der Transport- und Nachrichtenverkehrsprozesse.

## Aktivtagung der WGMA setzte die Akzente für die zukünftige Arbeit

Am 27. Oktober 1983 veranstalteten der Vorstand der Wissenschaftlich-Technischen Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in der KDT der DDR zusammen mit den Wissenschaftlichen Sektionen (WS), den Fachausschüssen (FA) und Fachunterausschüssen (FUA) dieser Gesellschaft ihre Aktivtagung.
Das Ziel der Aktivtagung bestand darin, in Vorbereitung auf den 8. KDT-Kongreß Bilanz zu ziehen und gleichzeitig die Arbeitsgremien der WGMA auf perspektivische Zielstellungen entsprechend den volkswirtschaftlichen Notwendigkeiten zu orientieren.
Der Vorsitzende der WGMA, Prof. Dr. sc. techn. *W. Richter*, würdigte in seinem Eröffnungsbeitrag, daß sich die Arbeitsgremien der WGMA verantwortungsbewußt auf die Schwerpunkte der Tätigkeit der WGMA konzentriert haben und ideenreich mit hohen ökonomischen Ergebnissen wirkten. Alle abgerechneten Leistungen wurden als Ergebnis echter, freiwilliger sozialistischer Gemeinschaftsarbeit erbracht und beruhten auf dem festen Willen der Mitglieder der WGMA, einen meßbaren Beitrag zum 8. KDT-Kongreß zu erbringen. Das führte im Fachgebiet zu volkswirtschaftlich effektiv nutzbaren Ergebnissen:

- schnellere Leistungssteigerung
- Verbesserung der Arbeitsergebnisse
- Erhöhung des Niveaus der Aus- und Weiterbildung
- gründlichere Öffentlichkeitsarbeit
- Schaffung methodischer Unterlagen für den Prozeßrechnereinsatz und die Prozeßautomatisierung.

In dieser Zeit, die durch eine außerordentliche Verschärfung der Klassenauseinandersetzung gekennzeichnet ist, wird von allen ehrenamtlich in der WGMA tätigen Kollegen verlangt, daß sie sich noch konsequenter für die Realisierung der anstehenden Aufgaben verantwortlich fühlen und für die Durchsetzung eigener schöpferischer Leistungen und Ideen kämpfen.
Die Bitte des Präsidenten der Kammer der Technik an die WGMA, „ein längerfristiges komplexes Programm für die gesamte Organisation vorzubereiten, das die wichtigsten Aufgaben zur Entfaltung von KDT-Initiativen für die Durchsetzung der rechnergestützten Arbeit in der Produktionsvorbereitung in allen Bereichen der Volkswirtschaft enthält", hat die WGMA aufgegriffen und wird hierzu die inhaltliche Koordinierung der wichtigsten Maßnahmen der KDT auf diesem Gebiet übernehmen. Dabei sieht die WGMA vorrangig ihre Aufgabe darin, zusammen mit den Fachgremien anderer Fachverbände und Wissenschaftlich-Technischen Gesellschaften in der KDT die Weiterbildung (insbesondere vorlauforientierte und bildungsstrategische Maßnahmen) zu diesem Komplex zu entwickeln. Weitere Aufgabengebiete, die die WGMA unter Führung des Vorstandes zur Beschleunigung der Überführung aus Forschung und Entwicklung in die Praxis übernehmen will, sind:

- Erstellung einer Materialsammlung zu „Standardisierten Teilen und Baugruppen für den Eigenbau von Rationalisierungsmitteln"
- Erarbeitung einer Studie zum „Zusammenhang zwischen meßbaren Größen und Qualitätssicherung" (die Rolle der Meßtechnik bei der Sicherung der Qualität).

Der Vorsitzende der WGMA schätzte ein, daß sich die WGMA mit der Übernahme der Verantwortung für die Erarbeitung solcher interdisziplinär angelegter Materialien immer mehr zum zentralen Gremium der KDT zu den Fragen der Meß- und Automatisierungstechnik qualifiziert und ihren Wirkungskreis erweitert. Mit dieser Strategie soll eine neue Qualität in der Arbeit der WGMA erzielt werden.
Das Referat des Vorsitzenden der WGMA wurde als Arbeitsgrundlage für alle Gremien der WGMA bestätigt.
Professor Dr.-Ing. *H. Hanspach* überbrachte als Mitglied des Büros der KDT die Grußadresse des Präsidiums der KDT an die Aktivtagung der WGMA. In seinem Beitrag würdigte er die Leistungen der WGMA bei der Umsetzung der Direktive zum 8. KDT-Kongreß. Die WGMA habe, so betonte der Redner, mit ihren 68 Fachorganen immer besser ihr umfangreiches schöpferisches Potential für die Lösung der volkswirtschaftlichen Probleme eingesetzt. Dabei wurde der Wirkungskreis verstärkt auf die spezifischen Aufgabenstellungen der Betriebe und Kombinate ausgerichtet.
In der anschließenden Diskussion referierten Dr.-Ing. *P. Kuntsche*/ZFT Robotron zu „Gerätetechnischen Voraussetzungen und materielle Möglichkeiten der Anwendung der rechnergestützten Arbeitsplätze"; Prof. Dr. sc. techn. *R. Müller*/TH Leipzig zu „Fragen des Einsatzes und der Anwendung der rechnergestützten Arbeitsplätze bei der Projektierung von Automatisierungsanlagen"; Dr. *W. Born*/ZFT Robotron (Vortrag wurde verlesen) zum „Einsatz der rechnergestützten Arbeitsplätze bei der Erstellung von Systemunterlagen und der Programmierung von Groß-, Klein- und Mikrorechnern" und Frau Doz. Dr. *B. Matern*/TU Dresden zur „Arbeits- und ingenieurpsychologischen Bewertung und Gestaltung der rechnergestützten Arbeitsplätze".
Mit diesen Beiträgen wurden Aufgabenstellungen umrissen, die, dem Auftrag des Präsidenten der KDT entsprechend, die WGMA im Zusammenwirken mit anderen Gremien künftig bearbeiten soll.

Für hervorragende Leistungen in der sozialistischen Ingenieurorganisation wurden auf der Aktivtagung mit Auszeichnungen geehrt:

Professor Dr. mult. *Paul Görlich* mit der Ehrenmitgliedschaft der KDT für sein langjähriges aktives Mitwirken im Vorstand der WGMA und als Vorsitzender des FUA „Photondetektors";

mit der silbernen Ehrennadel:
Doz. Dr. sc. techn. *Hans-Dietrich-Klabuhn* für seine Arbeiten zur Mensch-Maschine-Kommunikation,
Dr. sc. oec. *Jochen Picht* für seine Arbeiten zur Datenverarbeitungsprojektierung für die Leitung und Planung und für die Erarbeitung des Standpunktes des FA zu Fragen des rechnergestützten Softwareentwurfes, der unter seiner Leitung entstand,
Dipl.-Ing. *Rudolf Schmidt* für seine Arbeiten auf dem Gebiet der elektronischen Regelgeräte und wegen seiner ausstrahlenden Wirkung als stellvertretender FA-Vorsitzender bei der Erarbeitung von Unterlagen zur Kompatibilität von Automatisierungsanlagen;

mit der bronzenen Ehrennadel:
Doz. Dr.-Ing. *Frank Bernhard* für seine Arbeiten zur Temperaturmeßtechnik,
Prof. Dr.-Ing. habil. *Uwe Frühauf* für seine Arbeiten auf dem Gebiet der elektronischen Meßtechnik und der Erarbeitung eines Nachnutzungskataloges,
Doz. Dr. sc. techn. *Dirk Heinze* für seine Arbeiten auf dem Gebiet der Feuchtemeßtechnik und der Bearbeitung von 19 Themen zu Ehren des 8. Kongresses der KDT,
Prof. Dr. sc. techn. *Klaus Herrmann* für seine erfolgreiche Arbeit als Vorsitzender des FUA „Photoelemente und Schaltungen",
Doz. Dr.-Ing. *Heiner Kluge* für seine Arbeiten zur Durchflußmeßtechnik im gleichnamigen FUA,
Dr.-Ing. *Heinz Vetter* für seine Arbeiten zur Infrarotmeßtechnik und deren multivalenten Nutzung.
Zum Abschluß der Aktivtagung verabschiedeten die Teilnehmer eine Willenserklärung, in der sie Abscheu und Entrüstung über die Aggression der USA in Grenada zum Ausdruck brachten. Die Teilnehmer betonten ihre zunehmende Besorgnis über die Stationierung von NATO-Raketen in Westeuropa und insbesondere in der BRD.

msr 8052 *Kl.-D. Müller*, Vorstandsmitglied der WGMA

# INTERKAMA 1983

### Allgemeine Bemerkungen

Vom 9. bis 15. November 1983 fand in Düsseldorf/BRD die INTERKAMA[1]) 1983 statt. Der Berichterstatter erinnert sich einer Einschätzung der INTERKAMA 1965 durch Prof. *Oppelt*, er überschrieb seinen damaligen Bericht [1] mit „Der blühende Garten — INTERKAMA 65". Der Gang über die INTERKAMA 83 bot wiederum das Bild eines solchen blühenden Gartens, der allerdings gegenüber 1965 einen an Vielfalt und technischem Fortschritt „überwältigend neuen Bestand" aufzuweisen hatte. Die Saat dazu lieferten im wesentlichen die Entwicklungen aus dem Bereich der Mikroelektronik mit wichtigen Komponenten für die Automatisierungstechnik, die vor allem in der Sensortechnik und der Mikroprozeßrechentechnik ihren Niederschlag finden.
Die gelegte Saat präsentierte dem Besucher eine große Palette von Erträgen, die ihre Vorgänger in vielen Belangen weit übertrafen; ergänzt wurden die Ergebnisse um eine bedeutende Anzahl von erkennbaren „Keimlingen". Schließlich ließ die Ausstellung darüber hinaus auch ahnen, daß in rascher, vielleicht zu rascher Folge — wer soll das als Nutzer bewältigen? — weitere Saatkörner aufgehen werden.
Was gezeigt wurde, demonstrierte ein hohes Wachstumstempo der Mikroelektronik, die erkennbaren Auswirkungen auf die Automatisierungstechnik sind enorm; es zeigt sich in der Tendenz eine Entwicklung zu exponentiellem Wachstum, dessen Konsequenzen sich mit bisherigen traditionellen Vorstellungen und Maßstäben nur relativ schwer prognostizieren lassen.

### Einige Zahlen und Fakten

- Die im Abstand von drei Jahren stattfindende INTERKAMA wurde wiederum durch 4 Komplexe repräsentiert:
  - *Ausstellung* mit 1224 Ausstellern aus 26 Ländern, davon 230 Aussteller aus dem Ausland (Zuwachs gegenüber 1980: an Ausstellern 17%, an Ausstellungsfläche 7%). Aus dem RGW-Bereich waren die DDR (1), ČSSR (1), VR Polen (2), UdSSR (1) und Ungarische VR (2) vertreten.
    Das Bild der internationalen Beteiligung muß man unter Beachtung der ausländischen Tochterfirmen in der BRD sehen, der internationale Charakter ist viel stärker ausgeprägt, als die Zahlen ausweisen.
  - *Sonderausstellung „Angewandte Forschung"* mit 30 Ausstellern und 5% der Ausstellungsfläche, vertreten durch Hochschul- und andere Forschungsinstitute. Sie dient der Demonstration neuer Forschungsergebnisse und der Kontaktaufnahme zwischen der Industrie und Forschungseinrichtungen.
  - *Zweitägiger Kongreß* mit etwa 900 Teilnehmern und 65 Vorträgen, davon 16 aus dem Ausland. Er begann einen Tag vor der Eröffnung der Ausstellung (am 8. November 1983); an den letzten beiden Ausstellungstagen wurde er wiederholt.
  - 270 *Firmenkurse bzw. -vorträge* zu speziellen Produkten, zu Applikationsbeispielen usw. Hier stieg die Anzahl der Beiträge um 17%.
- Die INTERKAMA ist vor allem aufgrund der Ausstellung wohl die weltweit größte und bedeutendste Veranstaltung auf dem Gebiet der Automatisierungstechnik. Dieses Gebiet wird heute (1983) nach dort gegebenen Informationen weltweit mit einem Marktvolumen von 120 Milliarden DM (Hardware, Software, Montage usw.) eingeschätzt. Die Zuwachsrate auf dem Gebiet der Automatisierungstechnik beträgt nominal etwa 10%. Die Marktanteile werden wie folgt eingeschätzt: USA 40%, BRD 10%, Japan 9%, Großbritannien 5%, Frankreich 4%.

Auf der INTERKAMA dominiert traditionsgemäß jene Industrie, die vor allem die Automatisierung von Fließgutprozessen (Chemie, Energie, Metallurgie usw.) betreibt. Der Anteil der Aussteller, die sich überwiegend mit der Steuerung diskreter Prozesse der Fertigungstechnik und der Robotertechnik beschäftigen, nimmt zwar zu, entspricht aber nicht dessen derzeitigem Gewicht und dem Entwicklungstrend. Diese Mittel werden heute noch vorrangig auf Werkzeugmaschinenausstellungen, auf Messen für die Verpackungstechnik, Polygraphie usw. vorgestellt. Sicherlich werden sich auch in dieser Hinsicht zukünftig Profilerweiterungen ergeben.

### Bemerkungen zum Kongreß

Der Kongreß ist von der Zielstellung her deutlich auf den Anwender zugeschnitten und soll zu erwartende Trends und Entwicklungen auf dem Gebiet der Bauelemente, Geräte, Anwendungen und der Theorie widerspiegeln. Dieser Aufgabe wurde der Kongreß mit 12 Vortragsgruppen gerecht, die folgende Themenkomplexe umfaßten:

1. Sensoren
2. Musterkennung, Bildverarbeitung
3. Prüftechnik und Qualitätssicherung
4. Beobachter und Prozeßidentifikationsverfahren im praktischen Einsatz
5. Sensivität und Robustheit bei Regelungssystemen
6. Steuerungs- und Regelungsverfahren für komplexe Aufgaben
7. Bauelemente, Geräte und Systeme der digitalen Meß-, Steuerungs- und Regelungstechnik
8. Neue Kommunikationstechniken für die Meß-, Steuerungs- und Regelungstechnik
9. Rechnergesteuerter Systementwurf, Simulation, Software-Engineering
10. Praktische Erfahrungen mit verteilten Automatisierungssystemen
11. Visuelle und audifive Mensch-Prozeß-Kommunikation
12. Zuverlässigkeit und Fehlertoleranz von Automatisierungssystemen.

Der Kongreß stand und steht trotz seiner sehr guten Vorbereitung und Organisation sowie seines interessanten und umfassenden Programmes etwas im Schatten der Ausstellung, nicht zuletzt deshalb, weil das vorzügliche Kongreßmaterial ein Studium auch am heimischen Schreibtisch gestattet und der Reiz der Einmaligkeit der Ausstellung für viele Besucher größer ist.
Auf eine detaillierte Auswertung des Kongresses muß im Rahmen dieses Berichts verzichtet werden.

### Zur Ausstellung

- Das Fluidum, der Inhalt und die Informationsbreite der Ausstellung kann auch in Näherung schriftlich nur unvollständig wiedergegeben werden. Deshalb möge die dargestellte Tafel einerseits die Vielfalt, andererseits das sich dahinter verbergende breite Potential an Forschungs- und Entwicklungsleistung und Produktionskapazität widerspiegeln. Die Tafel macht gleichzeitig deutlich, daß mit dieser erstaunlichen Angebotsbreite der erforderlichen Niveaustufung in der Automatisierungstechnik Rechnung getragen wird. Schließlich sei bemerkt, daß noch 1980 nicht im Branchenverzeichnis aufgenommene Firmen, z. B. für die Herstellung und Änderung von Software, 1983 mit 90 Firmen vertreten waren (Strukturwandel). So treten u. a. Firmen auf, die sich allein mit der Entwicklung von Software für die Mensch-Maschine-Kommunikation beschäftigen.
- Bei allen Einschätzungen zur INTERKAMA sollte man allerdings auch beachten, daß sie die Repräsentationsschau für die vielfältigsten Unternehmen des Fachgebietes ist, auf der auch versucht wird, den Stellenwert der eigenen Firma zu unterstreichen, und es wird nicht allen Ausstellungsobjekten eine erfolgreiche Umsetzung auf dem Markt beschieden sein.
- Die Ausstellung machte deutlich, daß die wesentlichen Ergebnisse der Arbeit seit der INTERKAMA 80 in der vielfältigen Detailarbeit, d. h. Verbesserung und Erweiterung teilweise bereits ausgestellter Geräte bzw. Konzepte und in der Umsetzung von Anwendungserfahrungen, ihren Niederschlag fanden. Zu gravierenden Entwicklungen z. B. großer dezentraler digitaler Automatisierungssysteme lagen auf dieser Ausstellung einerseits breite Referenzen und Erfahrungen vor, andererseits waren die gezogenen Konsequenzen aus den Entwicklungen etwa im Sinne weiterer Dezentralisierung und Kopplung mit Steuerungssystemen (z. B. *Siemens*) oder der Erweiterung der Systemkonzepte in Richtung Leitebene (z. B. *Honeywell*) zu erkennen. Völlig

[1]) Internationaler Kongreß mit Ausstellung für Meß- und Automatisierungstechnik.

revolutionierende Trends und nicht zu erwartende Entwicklungen mit Breitenwirkung und Überraschungseffekten waren nicht erkennbar.

- Die Erwartungen, dezentrale Automatisierungssysteme wegen ihrer hohen Leistungsfähigkeit auch für wissenschaftliche Zwecke, wie die Identifikation und die nachträgliche Verfeinerung der Lösung, einzusetzen, bestätigten sich.
- Was die Palette der freiprogrammierbaren Steuerungen betrifft, so reicht die Vielfalt sehr weit, sie überstreicht weitgehend das Gesamtgebiet der Anwenderwünsche. Großfirmen, wie *Siemens*, *BBC* usw. verfügen deshalb über hervorstechende Angebote zielstrebig niveaugestufter freiprogrammierbarer Steuerungssysteme mit den erforderlichen Mitteln zur Programmierung. Hier, wie auch auf anderen Ebenen, werden die Anstrengungen für die nutzerfreundliche Aufbereitung der Automatisierungsmittel sehr deutlich. Aus der Sicht des Berichterstatters wird manchmal sogar etwas zu kompromißlos auf den Kunden orientiert.
- Firmen, die Großsysteme anbieten, verfügen selbstverständlich gleichzeitig über eine breitere Palette einfacherer Automatisierungseinrichtungen für Problemlösungen und Aufgaben der Klein- und Mittelautomatisierung sowie über Meß- und Stelleinrichtungen. Diese Strategie ist nicht zuletzt eine Frage der Gesamtökonomie jedes Unternehmens.
- Das Angebot auf dem Gebiet der Prozeßmeßtechnik hat sich erweitert; der Trend zur intelligenten Meßtechnik und den damit möglichen Strukturänderungen ist unverkennbar und wurde von Einzelgeräten (*Krohne*) bis hin zum Meßumformersystem (*Honeywell*) demonstriert.
  Neben der enormen Breite auf diesem Gebiet (siehe Tafel) bot, um ein Beispiel herauszuheben, *Honeywell* ein digitales Meßumformersystem mit Dialogeinheit an. Die Umformer sind mikroprozessorgesteuert, können Kennlinien korrigieren, Fehler kompensieren (0,1%). Die Dialogeinheit gestattet die Verbindung mit dem Meßumformer von der Warte aus, er kann darüber konfiguriert werden (Bereichsgrenzen, Ausgangsverhalten, Meßbereiche, Nacheichung usw.) und bringt dadurch enorme Kosteneinsparung durch Fernbedienbarkeit, Ferndiagnose usw. für den Betrieb der Geräte. Auch *Krohne* orientiert z. B. auf die Kennlinienkorrektur bei Schwebekörperdurchflußmessern, die Speicherung von Betriebsdaten usw. über Mikroprozessoren. An Feldbussystemen wird zielstrebig gearbeitet.
- Auf dem Gebiet der Stelltechnik ist noch keine echte Bewegung in Richtung moderner Entwicklungen und Strukturänderungen erkennbar. Die Vielfalt liegt hier vorrangig auf dem Gebiet der Armaturen.
- Geräte der Pneumatik und Hydraulik waren entsprechend ihrer jetzigen Bedeutung proportioniert vertreten, sie dominieren im Bereich der Stelltechnik, sonst ist hier ein spürbarer Rückgang zu verzeichnen. Marktbeherrschende Firmen der Pneumatik treten zusätzlich mit massiven Elektronikprogrammen auf, z. B. *Festo* für Steuerungen, *Eckardt* bietet seit Jahren Prozeßrechner an.
- Auf dem Gebiet der Anzeige- und Registriertechnik werden trotz Bildschirmtechnik und zugehöriger Peripherie einfache bis anspruchsvolle Schreiber, bis zu solchen mit Multifunktionen (30 Eingänge, Klarschriftmeldung, sechsfarbig, Alarmdruck, Eigendiagnoseprogramme usw.) zu relativ hohen Preisen angeboten. Bei den Einzelgeräten dient die weiterentwickelte Anzeigetechnik zur „Aufwertung" auch relativ einfacher Geräte.
- Das Bild der Mensch-Maschine-Kommunikation wird von einer großen Vielfalt an Hard- und Software für die Bildschirmtechnik und zugehöriger Peripherie bestimmt. Die Nutzung scheint noch stark auf „intuitive Gestaltung" orientiert zu sein, vorhandene Erfahrungen genügen noch nicht für endgültige Schlußfolgerungen. Vorhandene wissenschaftliche Erkenntnisse werden bisher nur wenig genutzt.
- Elektronische Regler werden in allen Schattierungen vom Universal- bis zum Spezialregler angeboten. Schlagworte wie Adaption, Optimierung werden teilweise großzügig genutzt, um Leistungseigenschaften zu kennzeichnen. Großfirmen bieten nach wie vor eine breite Palette vom universellen Regler bis zum Spezialregler für Problemlösungen an. Dieses Geschäft läuft nahezu unabhängig von den größeren Systemen. Auch hier wird die Linie der Niveaustufung und der bewußten Einbeziehung von Aufgaben der Breitenanwendung der Automatisierung z. B. für die Gebäudetechnik u. a. deutlich.
- Die gerätetechnischen Lösungen für spezielle technologische Linien werden ebenfalls gepflegt. Zum Beispiel wurde Contronic 3 von *Hartmann & Braun* für die Kraftwerkstechnik durch ein Informationssystem erweitert; man greift nicht auf Contronic P zurück. Dagegen spezialisierte *Siemens* das System Teleperm M beispielsweise auch für die Kraftwerkstechnik.
  Darüber hinaus gab es ein dezentrales Automatisierungssystem bis herunter zum freiprogrammierbaren Einkanalregler (*Yokogawe Hokushin Elektric*/Japan) zu sehen; als Bus werden dazu Lichtleiter angeboten. Andere Hersteller vertreten die Meinung, daß der Lichtleiterbus noch zu teuer ist.
- Das Angebot an Hilfseinrichtungen von der Stromversorgung über die Tastaturen bis zu den Gestellen und Gehäusen war enorm breit; es fördert die Geräteentwicklung und ihre äußere Formgebung im großen Stil.
- Die zunehmenden Softwarekosten (in der BRD von 1977 bis 1982 von knapp 50,— DM/h auf 81,5 DM/h) zwingen zu Überlegungen auf diesem Gebiet; das war nicht zuletzt ein Grund dafür, daß diese Ausstellerkategorie stark anwächst. Die softwareanbietenden Firmen erwarten Zuwachsraten von 20% je Jahr. In der BRD wurden z. B. 1982 12 Milliarden DM für Software ausgegeben, davon haben die Softwareanbieter einen Anteil von

(Fortsetzung auf Seite 229)

**Tafel. Überblick über das Ausstellungssortiment**

| Benennung der Sachgruppen | Anzahl der in den Sachgruppen aufgeführten Untergruppen zur Anzahl der dort genannten Aussteller |
|---|---|
| Meßgeräte und Meßeinrichtungen, Sensoren, Waagen und Wägeeinrichtungen mit Daten- und Registriertechnik einschließlich zugehöriger Software | 97/4200 |
| Analysen- und Untersuchungsgeräte, mustererkennende Sensorsysteme einschließlich zugehöriger Software | 11/1600 |
| Einrichtungen zum Eichen, Prüfen und zur Qualitätssicherung einschließlich zugehöriger Software | 12/1600 |
| Geräte und Systeme zur Signalfernübertragung und Datenkommunikation einschließlich zugehöriger Software | 5/400 |
| Geräte zur Meßwertanzeige oder Signalausgabe | 8/1000 |
| Geräte und Systeme zur Automatisierung einschließlich zugehöriger Software | 15/2400 |
| Geräte und Systeme für die Prozeßrechentechnik und die Prozeßdatentechnik einschließlich zugehöriger Software | 11/1800 |
| Stellgeräte und Stellantriebe | 6/800 |
| Geräte und Programme für Planung und Projektierung | 3/180 |
| Leitstände und Warten | 4/240 |
| Hilfsmittel und Zubehör | 7/480 |
| Gesonderte Dienstleistungen für Meß- und Automatisierungsanlagen | 7/600 |
| Anwendungsgebiete der Meß- und Automatisierungstechnik | 11/450 |

## Fachtagung „Entwicklungstendenzen und Probleme der Prozeßmeßtechnik in der Verfahrenstechnik“

Auch in diesem Jahr veranstaltete der Fachunterausschuß Meß- und Gerätetechnik im Fachausschuß MSR-Technik des Fachverbandes Chemische Technik der KDT eine Fachtagung. Sie fand unter o. a. Thema am 26. Oktober 1983 in Schkopau statt. Wie der Vorsitzende des Fachunterausschusses, *H. Iltzsche*, Kombinat VEB Chemische Werke Buna, einleitend hervorhob, erfolgte die Themenwahl entsprechend der Bedeutung der Prozeßmeßtechnik als Mittler zwischen Steuerobjekt und -einrichtung. Wie stets, sollte die Fachtagung Tendenzen aufzeigen, über Geräteentwicklungen — insbesondere Eigenentwicklungen — informieren und den Erfahrungsaustausch anregen.

In seinem Übersichtsvortrag zeigte *G. Kunack*, IfR Berlin, die mit der Entwicklung der Sensortechnik verbundenen Konsequenzen für die Prozeßmeßtechnik auf. Internationale Schätzungen geben an, daß infolge fehlender Sensortechnik nur etwa 10 bis 50% der Anwendungsmöglichkeiten der Mikroelektronik genutzt werden. Der entwicklungsbedingte Rückstand liegt für die Sensortechnik zwischen zwei und fünf Jahren. Der Begriff Sensor umfaßt einen recht weiten Inhalt und sollte als Sammelbegriff verstanden werden [1]. An die Sensortechnik können Erwartungen nach Meßmitteln mit höherem Gebrauchswert — Signalvorverarbeitung, Meßfehlerreduzierung u. dgl. — und einer teilweisen Erweiterung der Meßbarkeit geknüpft werden. Die genutzten physikalischen Wirkprinzipien sind i. allg. so neu nicht, neu ist ihre Realisierbarkeit durch Nutzung mikroelektronischer Technologien. Die dadurch erzeugten Wandlerelemente müssen mit weiteren mechanischen und elektronischen Baugruppen gekoppelt werden. Das erfordern die Komplettierung des Wirkprinzips, die Gewährleistung des mechanischen Schutzes und der Anschließbarkeit; das erfordern aber auch die Anpassung an vorhandene Einbauvorschriften, Standards u. dgl. sowie die Kompatibilität mit vorhandenen Meßmitteln. Der Massen- bzw. Volumenunterschied zwischen dem Wandlerelement und der handhabbaren Einheit kann einige Größenordnungen betragen. Die Kopplung der Baugruppen kann i. allg. nicht vom Anwender vorgenommen werden. Dadurch wird die Anpassung an die konkrete Meßaufgabe problematisch. Für den Hersteller — und damit für die weitere Einführung der Sensortechnik — geht es um die Fertigung großer Stückzahlen möglichst breit anwendbarer Verkaufseinheiten. Gegenüber herkömmlichen Meßmitteln werden die Einstell- und Reparierbarkeit verringert sein, so daß auch andere Instandhaltungsgewohnheiten folgen. Interessante Beispiele für die Sensortechnik sind die Anwendung eines Pyrodetektors in den Pyrometern Pyrovar, eines piezo-elektrischen Biegeelementes in den Durchflußmessern ursaflux W, eines piezo-resistiven Wandlers bei den Druck- und Differenzdruckmeßumformern ursapod H und zukünftig der monolithische Temperaturfühler B 511 bzw. 590 als teilweiser Ersatz für Platin-Meßwiderstände.

Die sieben Fachvorträge stellten gerätetechnische Neuheiten bzw. Änderungen vor.

*R.-M. Milles*, VEB Chemiekombinat Bitterfeld, berichtete über einen Füllstands-Grenzwertschalter: Eine Schwinggabel wird über piezokeramische Elemente zur Resonanz angeregt, die Unterbrechung der Schwingungen wird bei Kontakt der Schwinggabel mit dem Medium (Eintauchtiefe 0,3 m) signalisiert. Es gibt verschiedene Ausführungsformen, mit denen Füllstände in nicht explosionsgefährdeten Flüssigkeiten und Schüttgütern überwacht werden können. Die Temperatur des Mediums kann zwischen −50 °C und +70 °C, im Maximum bei 250 °C liegen.

Über einen neuen kapazitiven Füllstands-Grenzwertschalter der Firma Meister und Gushurst Elektrotechnik, Plauen, informierte *W. Lindner*, VEB GRW Teltow. Das preiswerte Gerät ist vorwiegend für Schüttgüter gedacht. Die Sonde wird dem Einsatzfall angepaßt. Die maximale Temperatur des Mediums beträgt 100 °C.

*E. Hoffmann*, VEB Filmfabrik Wolfen, stellte ein kontinuierliches Feuchtemeßgerät vor, das den Wassergehalt von Filmbahnen u. ä. aus einer Verhältnismessung reflektierten Infrarotlichts ermittelt. Der Meßfühler erfaßt im wesentlichen das Streulicht, abhängig von Materialdicke, -transparenz und -untergrund auch Beiträge des Strahlendurchganges. Das Gerät wurde an Filmbahnen erprobt. Die Reproduzierunsicherheit betrug 2,5% des maximalen Meßwertes, der temperaturabhängige Zusatzfehler etwa 0,01%/K für Temperaturen bis 35 °C. Der Meßquerschnitt erfaßt etwa 80 mm$^2$; die Eindringtiefe ist materialabhängig. Die maximale Entfernung zwischen Meßfühler und Verstärker beträgt 150 m. Erprobungen an anderen Materialien — Holzspäne, Papier, Futtermittel usw. — wurden erfolgreich durchgeführt.

Über eine kapazitive Feuchtemessung berichtete *H.-P. Preuß*, VEB CFK Schwarza „Wilhelm Pieck“. Kernstück ist ein speziell gestalteter Meßfühler, ein Kondensator aus neun Elektroden mit einer Gesamtfläche von (0,22 × 0,22) m$^2$. Die benachbarten Elektroden haben zueinander einen Niveauunterschied von 3 mm, so daß sie abwechselnd auf der formbeständigen Oberfläche des Mediums schleifen bzw. einen entsprechenden Abstand zu ihr haben. Der durch die Gestalt des Kondensators erzeugte Verlauf der Feldlinien ermöglicht die Feuchtemessung in einer Eindringtiefe von etwa 1 mm. Das Meßverfahren wurde an textilem Fußbodenbelag erprobt; die Bahngeschwindigkeit lag bei 5 bis 6 m/min, der Meßbereich bei 0,1 bis 5% Wassergehalt. Die Elektroden wurden alle zwei Wochen gereinigt.

*D. Trautmann*, Institut für Zuschlagstoffe und Natursteine Großräschen, stellte ein Echolot zur Füllstandsmessung in Schüttgutbehältern vor, das zur Serienproduktion vorgesehen ist. Das Gerät mißt etwa alle Sekunden mittels 10 kHz-Ultraschall-Impulsen den Füllstand mit einer Auflösung von 0,1 m. Der Meßbereich beträgt 1,5 bis 20 m, bei schlecht reflektierenden Medien bis 4 m. Die Temperatur im Behälter kann −15 °C bis 40 °C betragen. Die Temperaturkompensation bedarf einer Voreinstellung von Hand. Das Gerät wurde bei Baustoffen im Korngrößenbereich 0,1 bis 150 mm erprobt. Prozeßbedingter Lärm verursachte keine Fehlmessungen. Die Staubablagerung auf dem Schalltrichter blieb unter 1 mm und war ohne Auswirkungen. Die Entfernung zwischen Meß- und Anzeigeort kann bis zu 1000 m betragen. Eine Mehrstellenmessung ist möglich.

*P. Möbius*, VEB Robotron-Meßelektronik „Otto Schön“ Dresden, informierte über die Möglichkeiten und Besonderheiten der Anwendung von Radionukliden in der Prozeßmeßtechnik. Seit mehr als 20 Jahren angewandt, ermöglichen sie durch ein abgestimmtes Gerätesystem, das auch ergänzende mechanische Einheiten umfaßt, zuverlässig bestimmte Messungen der Stoffanalyse, der Flächenmasse (Durchstrahl- oder Reflexionsverfahren; Geräte 24004 für Differenz- bzw. 24024 für Absolutwertmessungen), des Füllstandes (im Bereich 0,01 bis 3 m mittels angepaßter Strahlungsempfänger und Strahlenrelais 24017 für Mehrstellen-, 23410 für Einstellenmessung; im Bereich 2 bis 50 m mittels Nachlaufeinrichtung 24016) und der Dichtemessung von Fluiden in Rohrleitungen (ab 10 kg/m$^3$; NW 100 bis 500). Prinziplösungen wurden vorgestellt und diskutiert.

*G. Arndt*, VEB PCK Schwedt, KB „Otto Grotewohl“ Böhlen, berichtete über die erfolgreiche Industrieerprobung eines Farbdisplays, das in Zusammenarbeit mit der TH Leipzig entstand. Es arbeitet mit einer Informationshierarchie (Übersichts-, Gruppen-, Einzelinformation) und einer Bedientastatur. Der Einsatz erfolgte an den Spaltöfen des Ethylenkomplexes unter Nutzung vorhandener Gerätetechnik und vorhandenem PRS 4000. Die Weiterentwicklung u. a. zu einem autonomen System unter Verwendung des K 1520 ist vorgesehen.

Über die Entwicklung eines Multiplexers für 18 analoge Signale mit Potentialtrennung informierte *J. Knobloch*, Kombinat VEB Chemische Werke Buna. Es handelt sich um die Importablösung vorhandener Geräte, die im Zellensaal einer Chlorelektrolyse eingesetzt sind. Die neue Lösung ist kompatibel mit der vorhandenen Einrichtung und verwendet einheimische Bauelemente. Sie ersetzt gleichzeitig elektromechanische Schalter und nutzt ein anderes Prinzip für die Potentialtrennung.

---

**(Fortsetzung von Seite 228)**

3,2 Milliarden DM erarbeitet. Den „Rest“ erstellten die Anwender.
- Die Anwendung der rechnergestützten Projektierung im Sinne von CAD hat in der Praxis noch nicht den denkbaren und erforderlichen Fortschritt gebracht, bisher werden nur Teillösungen effektiv genutzt.

Die INTERKAMA hat einerseits das außerordentlich hohe Entwicklungstempo auf dem Gebiet der Automatisierungstechnik deutlich bestätigt, andererseits wurde unterstrichen, daß solche Ergebnisse und die wegen der erforderlichen Niveaustufung notwendige Breite des Angebotes nur unter Nutzung weitgehender internationaler Kooperation erzielbar sind.

**Literatur**

[1] *Oppelt, W.*: Der blühende Garten — INTERKAMA 1965. rt 14 (1966) S. 2 bis 5.

msr 8040 *H. Töpfer*

Das abschließende Rundtischgespräch „Einsatzerfahrungen mit mikroelektronischer Automatisierungstechnik" wurde von *W. Richter*, VEB Chemiekombinat Bitterfeld, geleitet. Es beschäftigte sich vorwiegend mit Fragen der Vermeidung des Einflusses bzw. der Entstehung von Störspannungen. Der erfolgreichen Anwendung der Mikroelektronik können erhebliche materielle und geistige Aufwendungen aus dieser Problematik erwachsen. Die Teilnehmer des Rundtischgespräches waren sich einig, daß — ähnlich dem Grundgedanken einer automatisierungsfreundlichen Anlagengestaltung — die Zusammenarbeit zwischen Starkstrom- und Automatisierungstechnikern verstärkt der Vermeidung des Entstehens von Störspannungen gewidmet sein sollte. Bezüglich der Vermeidung des Einflusses gibt es zahlreiche Erfahrungen bei den Anwendern; diese sollten — organisiert durch den Fachausschuß — gesammelt und zu einer Projektierungsempfehlung für mikroelektronische MSR-Einrichtungen verdichtet werden.

Die Fachtagung war mit etwa 150 Teilnehmern gut besucht. Die interessanten und instruktiven Vorträge offenbarten ein weites Spektrum von Bemühungen um die Lösung von Meßaufgaben, regten zum Verstehen der Probleme und hinsichtlich gefundener gerätetechnischer Lösungen — sicher auch zur Nachnutzung an. Die Diskussion war lebhafter als in den vergangenen Jahren. Es bleibt zu wünschen, daß die Veranstalter auch im kommenden Jahr ihrem Prinzip treu bleiben und eine Fachtagung zu einem speziellen Gegenstand ausrichten, trotz nachgewiesenermaßen großer Probleme bei der Gewinnung von Referenten aus den Betrieben.

**Literatur**


[1] *Hart, H.*: Was ist ein Sensor? Feingerätetechnik, Berlin 31 (1982) 10, S. 470–471.


msr 8019 *P. Cschornack*

## msr DISSERTATIONEN

# Identifikation rückgekoppelter Mehrgrößensysteme im Frequenzbereich — Einheitliche Darstellung und Vergleich der Verfahren —

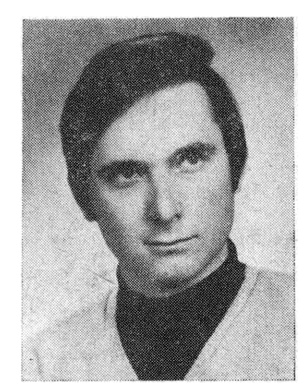
Der Identifikation rückgekoppelter Mehrgrößensysteme wird gegenwärtig große Aufmerksamkeit geschenkt. Dies liegt darin begründet, daß viele technische und nichttechnische Systeme echte Mehrgrößensysteme sind, bei denen aus Gründen der Wirtschaftlichkeit, der Sicherheit oder der Funktionsfähigkeit die Modellbildung nur am geschlossenen Regelkreis durchgeführt werden darf. Der Entwicklungsstand auf diesem Fachgebiet ist dadurch gekennzeichnet, daß bisher nur für die Klasse der parametrischen Modelle eine Reihe von Parameterschätzverfahren entwickelt und erprobt wurden. Wegen des hierbei auftretenden Strukturproblems ist die Anwendbarkeit der abgeleiteten Verfahren jedoch beschränkt.

Bei nichtparametrischen Frequenzgangmodellen (Ortskurven der Teilfrequenzgänge) tritt dieses Strukturproblem nicht auf. Da sie außerdem physikalisch gut interpretierbar sind, bestimmte rechentechnische Vorteile bei ihrer Ermittlung auftreten und sie unmittelbar für die modernen Entwurfsverfahren im Frequenzbereich anwendbar sind, bildete diese Modellklasse den Untersuchungsgegenstand der Arbeit. Als Ziele wurden dabei

– die Schaffung einer einheitlichen Darstellung der vier bekannten Identifikationsmethoden (indirekte Methode, direkte Methode, Korrelationsmethode, Verbundprozeßmethode) im Frequenzbereich
– die Ableitung von Identifizierbarkeitsbedingungen, die, im Unterschied zu den bisher bekannten, von den experimentellen Bedingungen abhängig sind
– die Gewinnung allgemeiner Hinweise für die systematische Gestaltung von Identifikationsexperimenten an Mehrgrößenregelkreisen

angesehen. Die hierfür erhaltenen Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die indirekte Methode, die direkte Methode, die Korrelationsmethode und die Verbundprozeßmethode wurden im Frequenzbereich abgeleitet, und es wurde für diese vier Methoden eine einheitliche Lösungsbeziehung zur Ermittlung der unbekannten Frequenzmatrix $G_S$ der Regelstrecke aufgestellt. Außerdem wurden die zwischen den einzelnen Methoden existierenden Zusammenhänge untersucht, wobei eine Reihe bisher nicht bekannter Beziehungen aufgedeckt wurde
- Im Rahmen der Ableitung praxisrelevanter Identifizierbarkeitsbedingungen wurde das Konzept der vollständigen und der teilweisen Identifizierbarkeit von Mehrgrößenregelkreisen in Abhängigkeit von den experimentellen Bedingungen (Anzahl der gemessenen Signalvektoren, vorhandene A-priori-Information) entwickelt. Hierfür wurden drei notwendige Bedingungen abgeleitet. Die Anwendung dieser Bedingungen auf die indirekte Methode, die direkte Methode, die Korrelationsmethode und die Verbundprozeßmethode wurde gezeigt, und anschließend wurden alle experimentellen Bedingungen zusammengestellt, für die die Identifizierbarkeit der Frequenzgangmatrix $G_S$ der Regelstrecke existiert. Diese Untersuchungen wurden auf die technisch interessanten Fälle, daß zwei, drei oder vier Signalvektoren des untersuchten Mehrgrößenregelkreises meßbar sind, erweitert. Ferner wurde die Austauschbarkeit der A-priori-Information gezeigt
- Wegen der zentralen Stellung der Korrelationsmethode innerhalb der vier Identifikationsmethoden wurde die Leistungsfähigkeit dieser Methode im Frequenzbereich näher untersucht und ein Vergleich mit den anderen drei Methoden vorgenommen. Hierbei wurde festgestellt, daß — sofern Testsignale anwendbar sind — die Korrelationsmethode sowohl zur Ermittlung nichtparametrischer als auch parametrischer Modelle zu empfehlen ist



*G. Bretthauer* wurde am 25. Oktober 1946 in Arenshausen, Kreis Heiligenstadt, geboren; 1965–1970 Studium an der TU Dresden, Fachrichtung Regelungstechnik. Anschließend wissenschaftlicher Mitarbeiter im Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse der Akademie der Wissenschaften der DDR, Bereich Regelungssysteme, Dresden. Promotion A 1977.
Dissertation B an der Fakultät für Elektrotechnik-Elektronik des Wissenschaftlichen Rates der TU Dresden; Dresden, 25. November 1983.

Doktorand: Dr.Ing. *G. Bretthauer*
Dekan: Prof. Dr.-Ing. habil. *W. Mosch*
Vorsitzender der Prüfungskommission: Prof. Dr. sc. techn. *W. Heinrich*
Gutachter: Prof. Dr. sc. techn. *H. Töpfer*, Prof. Dr. sc. techn. *U. Korn*, Dr. sc. techn. *H.-H. Wilfert*

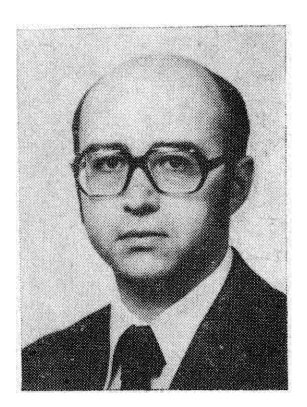
Die Dissertation kann nur über die Bibliothek der TU Dresden entliehen werden.


msr 8056 Dr. sc. techn. *G. Bretthauer*, Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse, Bereich Regelungssysteme, Dresden, 8027 Dresden, Haeckelstraße 20.


- Aufgrund der in dieser Arbeit für die Klasse der nichtparametrischen Frequenzgangmodelle erhaltenen Ergebnisse und den aus der Literatur für die Klasse der parametrischen Modelle bekannten Ergebnissen wurden abschließend einige allgemeine Hinweise zur systematischen Gestaltung von Identifikationsexperimenten an Mehrgrößenregelkreisen gegeben.

## Optimierende Steuerung komplexer verfahrenstechnischer Systeme bei unvollständiger Ausgangsinformation

Gegenstand der Dissertation ist die Entwicklung einer Strategie für die dynamische Optimierung komplexer verfahrenstechnischer Systeme, die unter Berücksichtigung unvollständiger Beobachtbarkeit, objektiv bedingter Modellunschärfe und zeitlicher Beschränkungen des Echtzeitbetriebes die mathematische Modellierung, die Echtzeitidentifikation und den Entwurf der Steueralgorithmen aufeinander abstimmt und darüber hinaus ein höchstmögliches Zuverlässigkeitsniveau des Steuerungssystems gewährleistet.
Die entwickelte Strategie basiert auf Methoden der Situationserkennungstheorie, deren Anwendung notwendige Voraussetzung für die praktische Realisierung dynamischer Optimalsteuerungen in komplexen Systemen ist.
Mit der Einführung der Entropiefunktion für die komplexe Bewertung der disjunktiven Klassifizierung sowie der Verbindung von Klassifizierungsalgorithmen mit Prognoseverfahren, einschließlich der Trendüberwachung, wird ein Beitrag zur Entwicklung der Situationserkennungstheorie geleistet. Für den konkreten Einsatzfall der Benzinpyrolyse wird die Realisierung unscharfer Klassifikatoren unter Verwendung von Grobmodellen dargestellt.
Für die Klassenrepräsentanten der aufgefundenen Prozeßzustandsklassen werden in der Off-line-Phase Optimalsteuerungen bestimmt, wobei vorzugsweise von einer Aufgabenstellung zur zyklischen Optimierung ausgegangen wird. Im Rahmen der Arbeit wurden Methodiken zur Bestimmung der optimalen zyklischen Steuerung ausgewählter dynamischer Systeme entwickelt sowie Kriterien zum Abschätzen der Effektivität zyklischer Steuerungen aufgefunden.
In der On-line-Phase werden die dynamischen Optimalsteuerungen unter Echtzeitbedingungen entsprechend dem aktuellen Prozeßzustand nachgeführt. Dafür sind vorzugsweise einfache iterative Algorithmen anzuwenden, die in jeder Iteration eine zulässige Lösung bereitstellen. Als besonders effektiv erwiesen sich aus dem Ressourcenverteilungsproblem abgeleitete Algorithmen sowie auf dem diskreten Maximumprinzip aufbauende Algorithmen.
Untersuchungen zur Zuverlässigkeit automatisierter Steuerungssysteme erfolgten vornehmlich zur Zuverlässigkeit der Mensch-Maschine-Kommunikation und zur Software-Zuverlässigkeit. Unter Berücksichtigung realer Einsatzbedingungen werden Berechnungsgrundlagen zum Abschätzen ausgewählter Zuverlässigkeitscharakteristika von Real-time-Software vorgestellt.
Die in der Dissertation erzielten theoretischen Ergebnisse wurden am Beispiel der Prozeßsteuerung einer Pyrolyseofengruppe sowie anderer industrieller verfahrenstechnischer Prozesse praktisch umgesetzt.



*B. Böhme* (36) studierte von 1967 bis 1972 an der Hochschule für Chemischen Maschinenbau Moskau, Fachrichtung Automatisierung chemischer Prozesse. 1975 Abschluß einer Direktaspirantur (Dr.-Ing.) an der gleichen Hochschule auf dem Gebiet der optimalen zyklischen Steuerung von Stofftrennprozessen. Von 1975 bis 1978 Industrietätigkeit im Bereich des Ministeriums für Chemische Industrie. Seit 1978 an der TH Leipzig, Sektion Automatisierungsanlagen, WB Informationstechnik, Lehrstuhl Prozeßrechentechnik, als Oberassistent tätig.
Dissertation B an der Fakultät für Technik- und Naturwissenschaften des Wissenschaftlichen Rates der Technischen Hochschule Leipzig; Leipzig, 28. Oktober 1983.

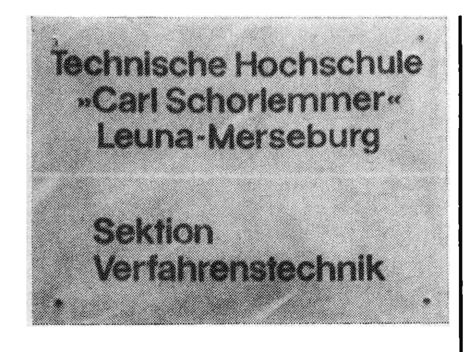
Doktorand: Dr.-Ing. *B. Böhme*
Dekan: Prof. Dr. sc. techn. *K. Fiedler*
Gutachter: Prof. Dr. sc. techn. *D. Balzer*
Prof. Dr. rer. nat. habil. *M. Peschel*
Prof. Dr. sc. techn. *K. Hartmann*

Die Dissertation kann nur über die Bibliothek der TH Leipzig ausgeliehen werden.

msr 8050 Dr. sc. techn. *B. Böhme*, TH Leipzig, Sektion Automatisierungsanlagen, WB Informationstechnik, 7030 Leipzig, Karl-Liebknecht-Str. 132.

# msr STELLT VOR

## Wissenschaftsbereich Automatisierungstechnik




In der fünften Folge unserer Beitragsreihe[1]) möchten wir Sie, verehrter Leser, mit einem Hochschulwissenschaftsbereich bekannt machen, bei dem die Automatisierungstechnik vorzugsweise in den Diensten einer unserer strukturbestimmenden Wirtschaftszweige, der chemisch-verfahrenstechnischen Industrie, steht. Die TH „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg (Bild 1) sieht ihre vordringliche Aufgabe darin, diesem Industriezweig die notwendigen Hochschulkader zur Verfügung zu stellen und ihn forschungsseitig zu unterstützen. Aus den bedeutenden automatisierungstechnischen Vorhaben des Industriezweiges, naturgemäß vorrangig zu Fließ- und Chargenprozessen, schöpft der WB Automatisierungstechnik seine Aufgabenstellungen. Unsere Gesprächspartner sind Herr Prof. Dr. sc. techn. *G. Brack*, der Leiter des Wissenschaftsbereichs, der auch Mitglied unseres Redaktionsbeirates ist, und Herr Prof. Dr. rer. nat. *A. Helms*, Hochschullehrer am Wissenschaftsbereich (Bild 2).

*msr*:
Zu Beginn unseres Gesprächs möchten wir Sie bitten, sich unseren Lesern mit den nach Ihrer Meinung wichtigen Angaben zu Ihrem wissenschaftlichen Werdegang vorzustellen.

Prof. *Brack*:
Nach meinem Abitur im Jahre 1949 durchlief ich eine Werkzeugmacherlehre, die ich 1951 als Facharbeiter abschloß. Von 1951 bis 1956 studierte ich an der TH Dresden Schwachstromtechnik. Von 1956 bis 1961 war ich wissenschaftlicher Assistent am Institut für Regelungstechnik der TH Dresden bei Prof. *H. Kindler*. Ich war übrigens nach *H. Töpfer* und *G. Pohl* der dritte Assistent dort, und so war meine Dissertation A im Jahre 1961 auch die erste Dissertation auf regelungstechnischem Gebiet überhaupt, die an diesem Institut abgeschlossen wurde. Sie war dem Verhalten eines speziellen nichtlinearen Reglers gewidmet. Im Sommer 1961 wechselte ich dann zum Institut für Regelungstechnik Berlin. Dort war

[1])
1. Technische Universität Dresden, Sektion Informationstechnik, Wissenschaftsbereich Regelungstechnik und Prozeßsteuerung. msr, Berlin 26 (1983) 1, S. 45–49.

2. Technische Hochschule Ilmenau, Sektion Technische und Biomedizinische Kybernetik. msr, Berlin 26 (1983) 5, S. 290–294.

3. Technische Hochschule Leipzig, Sektion Automatisierungsanlagen. msr, Berlin 26 (1983) 9, S. 527–531.

4. Technische Hochschule Karl-Marx-Stadt. Sektion Automatisierungstechnik. msr, Berlin 27 (1984) 3, S. 133–136.

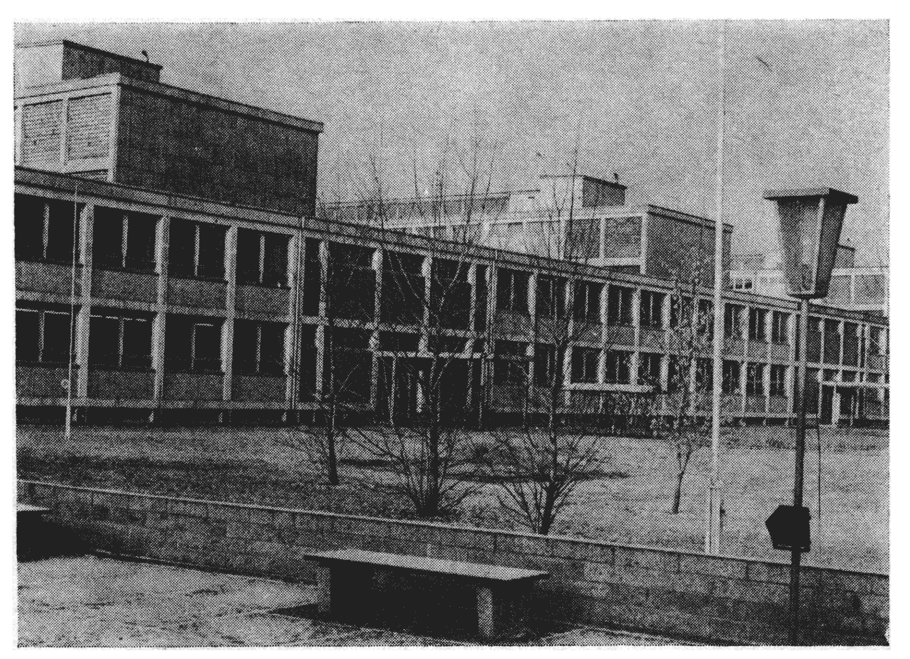


Bild 1. Blick auf das Gebäude der Sektion Verfahrenstechnik

ich bis 1964 tätig und beschäftigte mich mit analogen Regelungssystemen. Parallel dazu war ich im Reglerwerk Dresden maßgebend an der Entwicklung des pneumatischen Reglers „Cronibal" beteiligt, der für eine ganze Reihe von Jahren im industriellen Einsatz war. 1964 wurde ich zum Hochschuldozenten für das Fach „Automatisierung chemischer Prozesse" an die TH „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg berufen, die seither meine Wirkungsstätte ist. Ebenfalls 1964 wurde dort das „Institut für Automatisierung chemischer Prozesse" gegründet. Bis zur Sektionsgründung 1968 fungierte ich (zunächst kommissarisch, dann hauptamtlich) als Direktor des Instituts. 1968 wurde ich zum ordentlichen Professor und später dann zum Leiter des WB „Automatisierungstechnik" berufen. 1976 promovierte ich mit meiner Dissertation B zu Fragen des Entwurfs von Automatisierungssystemen.
Ich gehöre dem Vorstand der WGMA an und bin dort Vorsitzender der Wissenschaftlichen Sektion „Meß- und Regelungstechnik in verfahrenstechnischen Prozessen", ich arbeite im ZAK Steuerungs- und Regelungstechnik mit, bin Mitglied des Redaktionsbeirates der msr und einer der sechs Herausgeber der REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK.

Prof. *Helms*:

Nach meinem Abitur 1940 und dem zweiten Weltkrieg war ich anfangs in der Volksbildung als Lehrer tätig. Dann studierte ich von 1952 bis 1956 Physik an der Pädagogischen Hochschule Potsdam und war anschließend Assistent am Institut für Physik (Experimentalphysik). 1958 wechselte ich an das Institut für Technische Physik der damaligen Technischen Hochschule für Chemie Leuna-Merseburg, wo ich zunächst als Assistent und Oberassistent tätig war. 1959 promovierte ich zu Fragen der Meßtechnik zum Dr. rer. nat. 1964 wurde ich zum Hochschuldozenten und 1970 zum außerordentlichen Professor für Regelungstechnik am Institut für Automatisierung chemischer Prozesse der TH Leuna-Merseburg berufen. Von 1968 bis 1971 arbeitete ich an unserer 1968 gegründeten Sektion Verfahrenstechnik als stellvertretender Sektionsdirektor und bin seither im WB Automatisierungstechnik tätig.

*msr*:

Bitte informieren Sie uns und unsere Leser über den Entwicklungsweg und die Struktur Ihrer Bildungseinrichtung.

Prof. *Helms*:

Unsere Hochschule wurde 1954 als Technische Hochschule für Chemie Leuna-Merseburg gegründet. Sie setzte sich aus den Fakultäten Stoffwirtschaft und Ingenieurökonomie zusammen. Wenige Jahre später kam die Fakultät für Verfahrenstechnik und Grundlagenwissenschaften (Mathematik, Physik) hinzu, in deren Rahmen 1957 das Institut für Technische Physik gegründet wurde. In ihm waren die Abteilungen Meß- und Regelungstechnik, Technische Mechanik und Elektrotechnik vereinigt. Es war damals gar nicht so einfach, bei den „traditionellen" Wissenschaftlern Verständnis dafür zu wecken, daß die Automatisierungstechnik eine eigenständige Wissenschaftsdisziplin ist. Im Institut für Automatisierung chemischer Prozesse, dem ab 1964 (zunächst kommissarisch) Prof. *Brack* als Direktor vorstand, bemühten wir uns 1966 um die Eröffnung einer Fachrichtung Automatisierungstechnik. Dieser Plan ist heute wieder aktuell, da vor uns die Aufgabe steht, die „Konzeption für die Gestaltung der Aus- und Weiterbildung der Ingenieure und Ökonomen in der DDR" umzusetzen und zu realisieren.

Prof. *Brack*:

Das Institut für Automatisierung chemischer Prozesse, treffender wäre übrigens „verfahrenstechnischer oder stoffwandelnder Prozesse" gewesen, gliederte sich in die drei Abteilungen

- Meßtechnik (unter der Leitung von Prof. Dr. rer. nat. habil. *H. Hart*)
- Regelungstechnik (unter der Leitung von Prof. Dr. rer. nat. *A. Helms*)
- Automatisierungssysteme und elektrotechnische Grundlagen (unter meiner Leitung).

In dieser Zusammensetzung arbeiteten wir bis zur Hochschulreform 1968; zu diesem Zeitpunkt wurde das Institut als Wissenschaftsbereich in die Sektion Verfahrenstechnik einbezogen. Etwa zu dieser Zeit wurde übrigens Prof. *Hart* nach Berlin umberufen, und für die Fragen der Meßtechnik wurde bei uns Prof. Dr. rer. nat. habil. *M. Uhlmann* verantwortlich. Heute ist unsere Hochschule, die

Bild 2. Unsere Gesprächspartner, Prof. *Brack* (rechts) und Prof. *Helms*



seit 1963 Technische Hochschule „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg heißt, in die Sektionen Chemie, Verfahrenstechnik, Werkstofftechnik, Wirtschaftswissenschaften, Marxismus/Leninismus, Mathematik und Physik gegliedert. An ihr sind etwa 1100 Mitarbeiter angestellt und ungefähr 3000 Direktstudenten immatrikuliert. Davon entfallen auf unsere Sektion Verfahrenstechnik etwa 750 Studenten. An unserer Sektion erfolgt derzeitig die Ausbildung in drei Fachrichtungen:

— Prozeßverfahrenstechnik
— Systemverfahrenstechnik
— Verfahrenstechnik.

Dafür zeichnen 10 Wissenschaftsbereiche verantwortlich. Forschungsseitig gesellt sich dazu noch eine Hochschul-Industrie-Forschungsgruppe (HIFOG), deren Aufgabe darin besteht, Forschungsergebnisse aus den Wissenschaftsbereichen der Sektion in volkswirtschaftliche Schwerpunktvorhaben zu überführen. Unser WB Automatisierungstechnik bildet gegenwärtig innerhalb der Fachrichtung Systemverfahrenstechnik aus. Wir verfügen über fünf Hochschullehrer. Doz. Dr. sc. techn. *G. Lorenz* und ich haben als Berufungsgebiet „Automatisierungstechnik", Prof. Dr. rer. nat. habil. *M. Uhlmann* lehrt Prozeßmeßtechnik, Prof. Dr. rer. nat. *A. Helms* ist für die Regelungstechnik berufen worden und der berufene Vertreter des Fachgebietes Steuerungstechnik ist Doz. Dr. sc. techn. *P. Metzing*. Darüber hinaus wirken bei uns 12 wissenschaftliche und technische Mitarbeiter. Innerhalb der Vertiefungsrichtung Automatisierungstechnik, die wir in der Fachrichtung Systemverfahrenstechnik vertreten, haben bisher 424 Studenten ihre Diplomarbeiten erfolgreich abgeschlossen. Dabei sehen wir das Aufgabengebiet eines Verfahrensingenieurs generell darin, die großtechnische Herstellung von Produkten der Chemieindustrie und verwandter Zweige in die Wege zu leiten und die Forschungsergebnisse des Chemikers aus dem Labormaßstab in den großtechnischen Maßstab zu überführen. In der Vertiefungsrichtung Automatisierungstechnik werden naturgemäß die Automatisierungsaspekte besonders herausgestellt. Natürlich gehören zum Berufsbild jedes Verfahrensingenieurs viele kybernetische Aspekte. Der eigentliche Steuerungsaspekt wird dabei im WB Automatisierungstechnik behandelt, andere WB stellen spezielle kybernetische Gesichtspunkte, wie etwa Probleme der Systemzuverlässigkeit oder auch Stabilitätsfragen dar. Im Hinblick auf diese sehr flexiblen Einsatzmöglichkeiten für alle unsere Absolventen sehen wir eine vorrangige Zielstellung für unsere Bemühungen in der Lehre darin, daß unsere Studenten ein wirklich tiefes Verständnis für die Probleme der Automatisierungstechnik entwickeln. „Automatisierungstechnik" darf keinesfalls in Auswendiglernen z. B. von Stabilitätskriterien ausarten. Selbstverständlich setzt das eine entsprechende Aufbereitung des zu vermittelnden Stoffes voraus.

*msr*:

Vielleicht gehen Sie noch ein wenig näher auf Ihren Wissenschaftsbereich ein? Wo setzen Sie die Schwerpunkte der Kenntnisvermittlung? Welche Studienformen bieten Sie an?

Prof. *Brack*:

Nun, wie schon erwähnt, bilden wir derzeit in der Fachrichtung Systemverfahrenstechnik, Vertiefungsrichtung Automatisierungstechnik, aus. Es werden zwar gegenwärtig Überlegungen angestellt, ob es nicht sinnvoll wäre, in Umsetzung und Realisierung der „Konzeption für die Gestaltung der Aus- und Weiterbildung der Ingenieure und Ökonomen in der DDR" künftig Diplomingenieure für die Automatisierung chemisch-verfahrenstechnischer Anlagen auszubilden, aber momentan können wir natürlich nur den jetzigen Stand erläutern. Unser Wissenschaftsbereich wird ab dem 3. Semester wirksam. In insgesamt 285 Stunden vermitteln wir bis zum Abschluß des Studiums Kenntnisse in Fächern mit folgenden Bezeichnungen:

— Prozeßmeßtechnik
— Automatisierungstechnik I und II
— Automatisierungspraktikum I und II
— Prozeßsteuerung.

Wenn Sie uns nach unseren Schwerpunkten befragen, möchte ich erläuternd folgendes vorausschicken: Wir gehen davon aus, daß unsere Absolventen mit ihrem speziellen Profil im späteren Berufsleben arbeitsteilig mit Absolventen der Technischen Kybernetik zusammenarbeiten werden. Daraus resultieren spezifische Aufgaben für unsere Absolventen:

— Sie müssen die Nahtstellen zum Kybernetiker schließen.
— Sie benötigen für die speziellen Aufgaben vertiefte technologische Kenntnisse als Ergänzung zu den automatisierungstechnischen Spezialkenntnissen.

Unter Beachtung dessen, daß als Gemeinsamkeiten unabdingbar

— die Fachsprache
— die Symbolik
— eine theoretische Grundbasis

notwendig sind, um die Verständigung zum Kybernetiker zu gewährleisten, streben wir inhaltlich und methodisch ein anderes Vorgehen an als herkömmliche automatisierungstechnische Bildungsstätten, wie etwa der Bereich Regelungstechnik und Prozeßsteuerung an der TU Dresden oder die Sektion Technische und Biomedizinische Kybernetik der TH Ilmenau. Wir verstehen unsere Absolventen als verfahrenstechnische Technologen mit vertieften automatisierungstechnischen Kenntnissen. Daher stehen für sie im Unterschied zu den eben genannten Einrichtungen eindeutig folgende Aufgabenstellungen im Vordergrund:

a) die klare Formulierung der Ziel- und Aufgabenstellungen für die Automatisierung; Umsetzen technologischer in automatisierungstechnische Zielstellungen
b) Festlegung der Grundstrukturen (Meßorte, Stellorte, Signalverknüpfungsstrukturen, Informationsverarbeitungseinrichtungen) aufgrund der technologischen Notwendigkeiten
c) theoretische Prozeßmodellierung.

Wir orientieren unsere Lehrveranstaltungen auf weitestgehende Durchsichtigkeit und Verständlichkeit. Unsere These hierzu lautet: „Die Automatisierungstechnik ist nicht über eine Formelsammlung erlernbar". Das bedeutet, daß die Mathematik nicht die alleinige Grundlage zum Verständnis sein kann, und speziell für unsere Studenten sind wir der Meinung, daß die Automatisierungstechnik auch nicht auf der Basis elektrotechnischer Modelle (Ersatzschaltbilder) gelehrt werden kann, denn für technologische Fachrichtungen stellt die Elektrotechnik keinen Weg zur Erkenntnis dar, eher einen Umweg.
Die Studiendauer unseres Direktstudiums beträgt übrigens 4 1/2 Jahre. Darüber hinaus bietet unsere Sektion noch ein Fernstudium Verfahrenstechnik, und etwa 30 Teilnehmer jährlich durchlaufen ein postgraduales Studium „Prozeß- und Mikrorechentechnik in der chemischen Industrie". Natürlich führen wir auch eine Reihe von Weiterbildungslehrgängen mit und ohne KDT bzw. umliegenden Kombinaten durch. Nicht direkt mit der Lehre zusammenhängend, aber für unserem Wissenschaftsbereich wichtig ist, daß er manchmal auch die Funktion eines „wissenschaftlichen Dienstleistungsbetriebes" für die anderen Wissenschaftsbereiche der Sektion ausübt, sobald es z. B. um die Automatisierung von Versuchseinrichtungen geht. Beispiele dafür sind u. a. Mikrorechnersteuerungen von Meßeinrichtungen für rheologische Untersuchungen oder für eine Anlage zur Aufnahme und Auswertung von Verweilzeitspektren, die von uns erarbeitet wurden.

*msr*:

Wie ist bei Ihnen das die studentische Ausbildung begleitende Praktikum angelegt? Sind Ihre Praktikumsversuche an der Hochschule konzentriert oder auch „vor Ort" in der einschlägigen Industrie angesiedelt? Auf welche rechentechnische Unterstützung für die Ausbildung können Sie zurückgreifen?

Prof. *Brack*:

Wir ordnen dem Praktikum als didaktisch außerordentlich wichtigem Studienbestandteil einen hohen Stellenwert zu. Wir gliedern unser Praktikum in AT I (Grundverfahren der Prozeßmeßtechnik und einfache Regelungen) und AT II (kompliziertere Regelungen und Binärsteuerungen). Bei den direkt im WB befindlichen Praktikumsversuchen (Bilder 3 bis 5) haben wir einen großen Anteil an Eigenbauleistungen erbracht. Darüber hinaus steht uns unsere hochschuleigene geräumige Technikumshalle mit einer Reihe von verfahrenstechnischen Apparaten auf vier bis fünf Bühnen zur Verfügung. Auf diese Weise verfügen wir über halbindustrielle Versuchsanlagen, genauer, über Strecken aus dem Bereich der chemisch-verfahrenstechnischen Industrie, die möglichst kleine, aber noch technisch realistische Zeitkonstanten haben. Damit haben wir auch gleich die Begründung, warum wir unser Praktikum nicht „vor Ort", etwa in den Leuna-Werken, durchführen. Das wäre organisatorisch sicherlich möglich, würde aber den für unser Praktikum zur Verfügung stehenden Zeitfonds bei weitem sprengen, denn die Zeitkonstanten großtechnischer Regelstrecken liegen selten im Minutenbereich. Stunden und Tage sind da als Maßeinheit viel gebräuchlicher. Innerhalb des Praktikums wie des Studiums überhaupt wächst natürlich auch der Einfluß der Rechentechnik. Unseren Studenten wird als erstes die Möglichkeit gegeben, sich an programmierbaren Tischrechnern vom Typ robotron K 1002 intensiv in diese Sphäre einzuarbeiten. Außerdem erlernen sie

die höhere Programmiersprache FORTRAN und werden mit der Anwendung von Prozeßrechnern für Prozeßsteuerungen vertraut gemacht. Innerhalb der Praktika werden dann einfache und vermaschte Regelkreise auf dem KRS 4200 unseres Rechenzentrums digital simuliert, wozu die Studenten selber die Programme aufstellen (Bild 6). Simulationsverfahren sind nach unserer Meinung ohnehin wichtiger als die analytische Ermittlung dynamischer Vorgänge. Deshalb haben wir auch die Anwendung der Laplace-Transformation sehr zurückgedrängt.

*msr*:

Welche Kontakte pflegen Sie zu anderen Bildungseinrichtungen? Wir denken dabei an Studentenaustausch, Bestenförderung und ähnliche Dinge. Inwieweit sind Ihre Studenten in die Forschungsbemühungen der Sektion eingebunden?

Prof. *Brack*, Prof. *Helms*:

Etwa 10 Beststudenten schicken wir zu einem vierwöchigen Spezialseminar an die TH Leipzig, wo ihre Kenntnisse zur Projektierung von Automatisierungsanlagen vertieft werden. Weitere 10 Studenten erhalten jährlich im Austausch die Möglichkeit, an der Chemisch-Technologischen Hochschule Pardubice (ČSSR) ein dreiwöchiges Zusatzpraktikum Analogrechentechnik zu belegen. Im übrigen sind unsere Studenten praktisch 100%ig in unsere Forschungsaufgaben eingebunden. Die Aufgabenstellungen für das Ingenieurpraktikum unserer Studenten in der Industrie stimmen wir mit unseren Forschungspartnern ab, hinter denen sich personell häufig ehemalige Absolventen unserer Einrichtung verbergen. In der Diplomphase arbeiten die Studenten überwiegend an der Hochschule, wobei die Themen aus unseren Forschungsplänen stammen. Die Diplomarbeiten gehen somit in die Forschungsergebnisse der Sektion ein.

*msr*:

Mit Ihren letzten Worten haben wir schon die Überleitung zum Forschungsprofil des Bereiches gefunden. Das ist sicherlich ein Gebiet, das auch unsere Leser besonders interessieren wird. Bitte erläutern Sie uns die bei Ihnen betriebenen Forschungslinien.

Prof. *Brack*:

Wir forschen vertieft in verschiedenen Richtungen, wobei die oben genannten Hochschullehrer die anleitende Funktion ausüben. Da wäre zunächst die Forschungsgruppe um Prof. *Uhlmann* zu nennen, die sich Problemen der Prozeßmeßtechnik, speziell der Durchfluß- und Analysenmeßtechnik, widmet. Dr. *Lorenz* und seine Mitarbeiter beschäftigen sich intensiv mit der Automatisierung verfahrenstechnischer Experimente. Ihre Ergebnisse werden sie beispielsweise auf unserer Fachtagung AVEX '84 vortragen. Eine von Dr. *Metzing* und mir geleitete Forschungsgruppe ist der operativen Lenkung der Produktion zugewandt. Es ging uns zunächst um die wissenschaftliche Erschließung des gesamten Wissenschaftsgebiets „Operative Lenkung", vor allem natürlich unter dem Blickwinkel der Technischen Kybernetik. Dabei haben wir in der DDR eine gewisse Schrittmacherrolle gespielt. Als Charakteristikum sehen wir dabei, daß mit Hilfe von Mensch-Maschine-Systemen, in denen dem Rechner eine be-

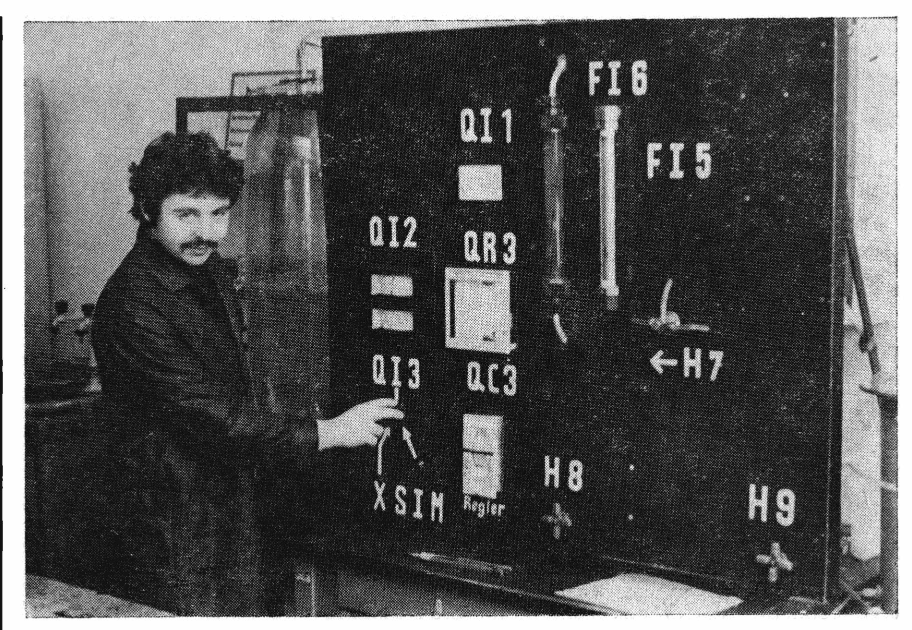
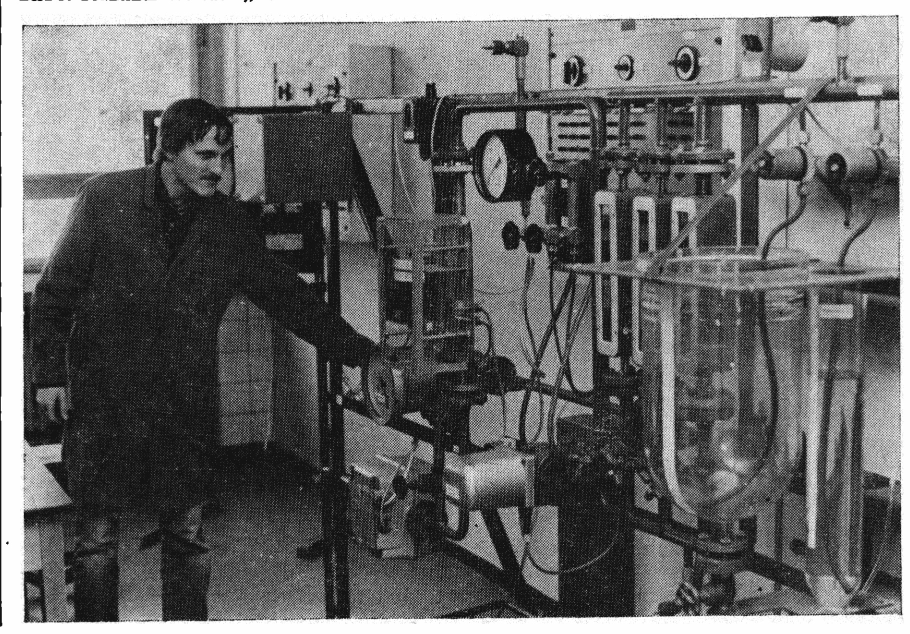


**Bild 3. Praktikumsversuch „Abwasserneutralisation"**


**Bild 4. Praktikumsversuch „Gaschromatographie"**

**Bild 5. Praktikumsversuch „Durchflußmeßtechnik"**



ratende Funktion zugewiesen wird, der Mensch aber als letzter Entscheidungsträger wirkt, die bisher nahezu ausschließlich wirksame Erfahrung und Intuition des Dispatchers durch fundierte wissenschaftliche Durchdringung und Unterstützung bei der operativen Lenkung auf dieser Ebene ergänzt wird. Dahinter steht als ökonomische Aufgabe die Sicherung der Planerfüllung bei vorhandenen Störgrößen und als kybernetischer Aspekt eine automatisierte (nicht automatische!) Steuerung auf möglichst hohem Niveau. Eine weitere Gruppe unter Leitung von Prof. *Helms* schließlich erforscht die Automatisierung von Chargenprozessen in Anlagen mit veränderlicher Struktur. Unter dem Stichwort „flexible Mehrproduktenanlage" geht es uns hierbei darum, mit einem gegebenen Sortiment an Geräten und Apparaten eine möglichst rasche Reaktion auf Verbraucherbedürfnisse zu realisieren. Dies ist dringend notwendig, da die für kontinuierliche Fließprozesse konzipierten Einzweckanlagen vor allem für die Herstellung von Massenprodukten geeignet, für hochveredelte Produkte kleiner Mengen (z. B. bestimmte Pharmaka) aber sehr unrentabel sind. Der Ausweg sind eben flexible Mehrzweckanlagen, die problemlos auf die Herstellung unterschiedlicher Produkte umrüstbar sind.

*msr:*

Sicherlich unterstützen Sie mit Ihren Forschungsleistungen nicht nur die einschlägige Industrie, sondern Sie erfahren auch selbst Hilfeleistungen durch diese Industrie. Berichten Sie uns doch bitte von Ihrer Zusammenarbeit mit Ihren Forschungspartnern.

Prof. *Brack:*

Unsere Forschungsmittel stammen aus zwei großen „Töpfen". Ein Teil wird uns zentral durch den Staatshaushalt finanziert, der andere, etwa 60%, entspringt der Industriefinanzierung, d. h. unserer Forschungskooperation. Bei der Wahl unserer Forschungspartner spielt unter anderem auch das Territorium, also die Nähe zum Partner, eine Rolle. Insofern ist es nicht verwunderlich, daß unsere wichtigsten Forschungspartner „vor der Haustür" angesiedelt sind. Das sind natürlich der VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht", dann der VEB Fotochemisches Kombinat Wolfen, der VEB Chemiekombinat Bitterfeld und schließlich der VEB Chemische Werke Buna. Für Leuna forschen wir z. B. auf dem Gebiet der operativen Lenkung und zur Prozeßmeßtechnik, auch für Wolfen führen wir Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Prozeßmeßtechnik durch, und unsere Arbeiten zur Automatisierung von Chargenprozessen in Anlagen mit veränderlicher Struktur werden ihre praktische Anwendung und Realisierung in Bitterfeld finden. Mit Buna arbeiten wir schließlich auf dem Gebiet der Anwendung unscharfer (fuzzy) Steuerverfahren zusammen. In diese Arbeiten ist unsere bereits erwähnte Hochschul-Industrie-Forschungsgruppe mit einbezogen. Generell können wir von einer wirklich guten Zusammenarbeit mit der Industrie berichten. Seitens der Industrie liegt ein hinreichendes Interesse an unserer Forschung vor. Garant dafür sind u. a. auch unsere langjährigen engen und stabilen Kontakte zu den Partnern, darunter auch ganz persönlich zu ehemaligen Mitarbeitern und Absolventen, die z. T.



Bild 6. Praktikumsversuch „Digitale Regelkreissimulation"

maßgebende Positionen in unseren Partnerinstitutionen innehaben. Mit dieser Gewähr für eine fördernde Atmosphäre werden die Themen gemeinsam formuliert und bearbeitet, und die Bedürfnisse unserer Praxispartner werden genau erfüllt.

Nicht zuletzt möchten wir auch unsere internationalen Forschungskooperationen erwähnen. Sie betreffen besonders die Schlesische Polytechnische Hochschule in Gliwice/VR Polen, die Universität für Chemische Industrie in Veszprém/Ungarische VR und die Chemisch-Technologische Hochschule in Pardubice/ČSSR.

*msr:*

Traditionsgemäß gilt unsere letzte Frage den wissenschaftlichen Verdiensten und Leistungen, auf die Ihr Wissenschaftsbereich im Laufe seiner Entwicklung zurückblicken kann.

Prof. *Brack:*

Bisher wurden an unserem Wissenschaftsbereich fünf Promotionen B, 36 Promotionen A und 424 Diplomarbeiten erfolgreich abgeschlossen. Dazu gesellen sich zahlreiche Fach- und Lehrbücher, Bände der REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK und wissenschaftliche Veröffentlichungen in Fachzeitschriften und auf Tagungen. Erinnert sei in diesem Zusammenhang nur an *Brack* „Technik der Automatisierungsgeräte", Autorenkollektiv (*Helms*) „Regelungstechnik für Verfahrenstechniker" I und II, an die Bände 115, 164, 172, 188, 197 und 204 der REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK oder an die Lehrbücher „Dynamik technischer Systeme" und „Experimentelle Verfahren zur Prozeßanalyse". Verweisen möchte ich auch auf das in Vorbereitung befindliche Buch „Automatisierungstechnik für Anwender" (*Brack, Helms*), dessen Manuskript bereits im VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie liegt und das 1985 erscheinen soll. Es handelt sich dabei um ein Lehrbuch der Automatisierungstechnik in der Nebenfachausbildung, das sich im Sinne unserer o. g. Lehrinhalte und -methoden mit stark praktischer Orientierung und didaktischer Aufbereitung an Technologen und Verfahrenstechniker wendet, die mit Automatisierungsfachleuten kollektiv zusammenarbeiten müssen.

Angehörige der WB arbeiten in wichtigen Gremien der KDT mit (WGMA, Fachverband Chemische Technik) bzw. führen dort den Vorsitz. Wir sind an der Gestaltung der „Herbstkurse Technische Kybernetik" mitbeteiligt und organisieren eine Reihe eigener Tagungen (z. B. Operative Lenkung 1982, AVEX 1984).

Abschließend möchte ich noch auf einige markante und volkswirtschaftlich relevante Forschungsergebnisse unseres Wissenschaftsbereiches hinweisen. Da wären zunächst innerhalb der Arbeiten zur „Algorithmierung des Entwurfs von Automatisierungssystemen" der „Katalog Basisautomatisierung" zu nennen. Bedeutungsvoll erscheinen uns auch die Arbeiten zur Signalanalyse im Zusammenhang mit der Untersuchung von Störeinflüssen in industriellen Prozessen (Störgrößenanalyse). Als Resultat entstanden Rechenprogramme zur Analyse stochastischer Signale, deren Nutzen bei zahlreichen Anwendern nachgewiesen wurde. Aus den Arbeiten auf dem Gebiet der operativen Lenkung stechen besonders die Ergebnisse einer großangelegten Forschung zur operativen Dampfverteilung im Leuna-Kombinat hervor. Die erfolgreich bearbeitete Zielstellung bestand darin, bei Störungen in sehr weit verzweigten Dampfverteilungssystemen Dispatcherentscheidungen zu treffen, die trotzdem die optimale Planerfüllung gewährleisten. Der Nutzen dieser Überführungsleistung ist mit mehreren Millionen M/Jahr bestätigt.

*msr:*

Herr Prof. *Brack*, Herr Prof. *Helms*, wir danken Ihnen herzlich für Ihre interessanten und informativen Auskünfte.

msr 8032 *D. Werner, D. Herrmann*

**Grundlagen der elektrischen Antriebstechnik mit Berechnungsbeispielen. 3., bearbeitete Auflage.** Von *J. Vogel* u. a. Berlin: VEB Verlag Technik 1983. 404 Seiten, 274 Bilder, 51 Tafeln, 25,50 Mark.
Bestell-Nr. 5530654

Das in der dritten Auflage vorliegende, gut eingeführte Lehrbuch vermittelt, aufbauend auf den Grundlagen der Elektrotechnik/Elektronik, der Automatisierungstechnik sowie des allgemeinen und des Elektromaschinenbaus die Wirkungsweise einfacher und geregelter elektrischer Antriebe sowie Methoden für die technisch-ökonomisch begründete Auswahl und Dimensionierung der Systemelemente. Die Handhabung der Berechnungsformalismen wird an zahlreichen Beispielen gezeigt.

Gegenüber den ersten beiden Auflagen wurde der Umfang des Buches wesentlich erweitert, der Inhalt dem technischen Fortschritt entsprechend aktualisiert, die Stoffdarstellung methodisch-didaktisch verbessert und die Zahl der Berechnungsbeispiele auf über hundert erhöht. Neue und weiterentwickelte Bauelemente, wie Leistungstransistoren und Linearmotoren, werden ausführlicher behandelt und die Einsatzmöglichkeiten der Mikrorechentechnik zur Automatisierung von Elektroantrieben anhand von Strukturbildern kurz dargestellt.

Die konzeptionelle Anlage des Buches wurde beibehalten, d. h., es werden in an sich konventionell traditioneller Weise zunächst die Stell- und Bewegungsvorgänge der anzutreibenden Mechanismen analysiert, danach die Betriebseigenschaften der wichtigsten elektrischen Antriebsmittel einschließlich der elektromagnetischen Kupplungen dargestellt, dann die Auswahl und Bemessung der Motoren und Schutzeinrichtungen behandelt und schließlich das Betriebsverhalten elektrischer Antriebssysteme mit Maschinenumformern und leistungselektronischen Stellgliedern erläutert. Darüber hinaus wird im Rahmen eines kurzen Abschnitts die Problematik der elektrischen Kleinstantriebe gesondert behandelt. Kennwerte von Arbeitsmaschinen, Elektromotoren und Halbleiterbauelementen, die Eigenschaften und Bestellangaben für elektrische Maschinen und Stromrichtergeräte, lineare und nichtlineare Reglerschaltungen für Antriebsregelkreise, Beispiele für den Einsatz von Mikrorechnern in elektrischen Antriebssystemen sowie einige mathematische Hilfsmittel und für die Antriebstechnik wichtige Standards sind in einem Anhang zusammengestellt.

Insgesamt ist das vorliegende Buch als ein solides Lehr-, Übungs- und Nachschlagewerk anzusehen. Es ist für Studierende des Maschinen- und Elektroingenieurwesens an Hoch- und Fachschulen sowie für Techniker und Ingenieure geeignet, die sich beruflich oder im Zuge von Qualifizierungsmaßnahmen mit dem Entwurf bzw. der Projektierung elektrischer Antriebssysteme zu befassen haben. Infolge der praxisorientierten Aufbereitung des Stoffes wird es als Lehrbuch insbesondere der Forderung nach einer praxisnahen Ausbildungsgestaltung sehr gut gerecht.

B 1859 *E. Habiger*

**Nachschlagwerk zu mathematisch-ökonomischen Modellen und Methoden** (in Russ.). Von *A. V. Krusevskij*. Kiew: Technika 1982. 208 Seiten.

Ein wichtiges Hilfsmittel bei der Untersuchung technisch-ökonomischer Prozesse sowie bei der wissenschaftlichen Begründung von Entscheidungen in Leitung und Planung sind mathematisch-ökonomische Modelle und Methoden sowie die moderne Rechentechnik. Eine zweckmäßige Anwendung dieser Hilfsmittel erfordert jedoch eine klare Aufgabenstellung sowie einen Modellbildungsprozeß, der ausgehend von dieser Aufgabenstellung die Etappen der Systemanalyse und Formalisierung beinhaltet. Die vom Autor in einer Übersicht gegebenen verschiedenen mathematisch-ökonomischen Modelle, die sich bei der Lösung von Leitungsaufgaben in Betrieben, in Bereichen der Volkswirtschaft (Industrie, Landwirtschaft, Handel, Transport) sowie in der Volkswirtschaft als ganzes bewährt und Anwendung gefunden haben, kann eine derartige, auf der Systemanalyse beruhende Modellbildung nicht durch eine Zuordnung von Modellklassen zu Aufgabenklassen ersetzen. Sie dient lediglich dem Anwender als Anregung, dem Studierenden zum Überblick und erlaubt beiden, für die im Prozeß der Modellbildung erhaltene mathematische Struktur zu überprüfen, ob bereits Erfahrungen zu dieser Modellklasse und entsprechende Software verfügbar sind. Neben diesen Modellen enthält die Arbeit noch zusätzlich verschiedene Verfahren zur Vorhersage ökonomischer Kenngrößen und ausgewählte mathematische Methoden (z. B. Lösung von Gleichungssystemen, lineare und nichtlineare, ganzzahlige, quadratische und diskrete Optimierung).

B 1796 *J.-A. Müller*

**Rechnerunterstützte Geräuschmeßtechnik.** (VDI-Bericht 468 — Tagung Düsseldorf 1983). Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH 1983. 122 Seiten, 122 Bilder, 13 Tafeln.

Der Tagungsbericht enthält 23 Artikel über die Anwendung von Digitalrechnern zur Steuerung von Meßsystemen, die Erfassung und Auswertung von Schallimmissions- und Schallemissionsdaten sowie von speziellen akustischen Kenngrößen. Berichtet wird über Leistungen fest programmierter Digitalrechner, z. B. FFT-Analysatoren. Insbesondere aber wird berichtet über den Einsatz frei programmierbarer Rechner in Meßsystemen zur Erfüllung von Meß- oder Überwachungsaufgaben.

Einige Artikel behandeln Querschnittsaufgaben der Maschinenakustik wie die Schalleistungsmessung: Methode, Berechnung von Erwartungswerten, Varianzen, Mittelungsfehler, Einfluß von Abtastfrequenz und Zeitbewertung. Weiterhin wird über Emissionsmessungen an Großmaschinen und Serienmaschinen berichtet.

Andere Artikel haben spezielle digitale Meßgeräte, Tischrechner und Kleinrechner im Einsatz für Geräuschmessungen zum Gegenstand..

In einigen Arbeiten wird berichtet über den Einsatz digitaler Rechner bei der Durchführung spezieller Meßaufgaben und Auswertungen bei

- Straßenfahrzeugen, insbesondere Kraftfahrzeugen im Innen- und Außenraum
- Geräuschimmissionsmessungen
- Schallausbreitungsmessungen in Räumen und im Freien
- Fluglärmerfassung
- Hallraummeßtechnik
- Ermittlung bauakustischer Kenngrößen.

Ein abschließender Artikel nimmt zur Eichfähigkeit von Schallmeßanlagen mit Rechnern Stellung. In der BRD geltende Gesetze schließen zur Zeit noch die Anwendung von Rechnern für eine Reihe von Meß-, Überwachungs- und Gutachteraufgaben aus.

B 1779 *W. Kraak*

**Meßtechnik in der Nachrichtenelektronik. Grundlagen, Meßgeräte, Meßverfahren, Anwendungen.** Von *U. Freyer*. München/Wien: Carl Hanser Verlag. 449 Seiten, 390 Bilder, zahlreiche Beispiele, Übungen und Textaufgaben.

Das Buch ist in der Reihe „Lernbücher der Technik" erschienen, mit der (so der Herausgeber) nach Durcharbeiten „umfassende Kenntnisse" auf dem jeweiligen Gebiet erhalten werden. Gedacht für die berufsbegleitende Aus- und Weiterbildung sowie für Fachschüler mit Autodidakten, sollen diese „Lernbücher" unterrichtsbegleitendes Lehrbuch, Arbeitsbuch mit Lösungen und lernzielorientierten Tests, Repetitorium und auch noch Notizbuch sein. Das klingt zusammengenommen recht viel und ist es im Grunde wohl auch, worunter der zu vermittelnde Stoff aber eher leidet als gewinnt. Zwar werden nach einigen Grundlagen Meßgeräte und Hilfsmittel, Meßmethoden und Meßverfahren, Meßplätze und Meßsysteme behandelt, aber vorwiegend verbal und eher in der Art einer bebilderten Bedienungsunterweisung als mit Hinweis auf den physikalisch-technischen Hintergrund.

Ausstattung und Bebilderung sind sehr gut; der zweispaltige Satz ist übersichtlich und läßt viel Freiraum für Notizen; das Buch imponiert, wenn man es erstmals zur Hand nimmt. Ob der tatsächliche Lernerfolg beim o. g. Nutzerkreis aber den Aufwand rechtfertigt, will der Rezensent fragend offenlassen. Eines ist sicher: der „Nürnberger Trichter" steht nach wie vor aus.

B 1835 *W. Richter*

## Simulation von Systemen in Biologie und Medizin

Vom 12. bis 16. November 1984 führt die Tschechoslowakische Wissenschaftliche und Technische Gesellschaft (ČSVTS) zu diesem Thema ihr „4. Prager Internationales Symposium der Sozialistischen Länder" durch.
Basierend auf der Konzeption der Simulation von Systemen als spezielle Form des Erkenntnisprozesses durch Substitution von Originalsystemen zum Zwecke der Untersuchung und des Entwurfs soll über folgende Schwerpunkte berichtet werden:

- Anwendung von Simulationssystemen beim Studium des Gesundheitszustandes der Bevölkerung und der Erfordernisse des Gesundheitsdienstes
- Entwurf medizinischer Vorsorgesysteme und ihrer Steuerung
- Untersuchung biologischer Systeme auf der Stufe der Moleküle und Zellen
- Physiologische und ökologische Aspekte
- Entwurf medizinischer Geräte und Apparaturen.

Anfragen sind zu richten an:
House of Technology, Ing. *Jiří Král*, Gorkého nam. 23, 112—82 Praha.

## Computer lenkt automatischen Zug

Der erste elektrische Triebwagenzug der UdSSR mit einer automatischen Steuerung, die mit Computer-Befehlen arbeitet, ist in Moskau eingesetzt worden. Der Computer in der Dispatcherzentrale des Jaroslawski-Bahnhofes schätzt die Situation auf der vielbefahrenen Einsatzstrecke ein und erteilt dem „automatischen Lokführer" die entsprechenden Kommandos. Vorerst verkehrt dieser moderne Zug auf einem 30 km langen Abschnitt der Moskauer Eisenbahn mit schneller Zugfolge, die während des Berufsverkehrs 2 ... 3 min beträgt.

(ADN-WT 1591-25b)

## Neues Datenerfassungs- und -verarbeitungssystem

Im Institut für Industrieautomatik der TU Warschau ist ein neues Datenerfassungs- und -verarbeitungssystem entwickelt worden. Die Konzeption basiert auf dem Gerätesystem des Kleinrechners MERA 400 und BASIC-Systemunterlagen. 19 Analogeingänge (Meßwerte: Temperatur, Druck, Wirkwiderstand usw.) und bis 60 digitale Ein- bzw. Ausgänge (Schaltung von Pumpen, Lüftern, Heizkörpern, Erfassung von Grenzwerten) stehen zur Verfügung und ermöglichen Registrierung und Verarbeitung analoger Meßwerte, Übernahme und Ausgabe von Interrupt-Signalen, Erfassung von binären Zustandssignalen, Registrieren von Alarmsignalen sowie Handanwahl und Datenprotokollierung auf Anforderung des Bedienpersonals.
Kennzeichnende Merkmale der Anlage sind:

- Mannigfaltigkeit der erfaß- und verarbeitbaren Prozeßdaten
- gute Anpassungsfähigkeit des Arbeitsprogramms an die jeweilige Aufgabe
- Erweiterungsmöglichkeit
- Bausteinprinzip der Systemunterlagen
- Verarbeitungsmöglichkeit zusätzlicher Anwenderprogramme.

(Aus „Technik in Polen" (1983) 4)

## Japanischer Roboter für ozeanografische Forschungen

Wie ein Rieseninsekt mit 6 Beinen von jeweils 1 m Länge soll Japans erster ozeanografischer Roboter gestaltet werden. Nach Entwürfen eines technischen Instituts wird sich der 100 kg schwere Roboter mit einer Geschwindigkeit von 10 bis 20 m/min auf dem Meeresgrund bewegen. Ausgerüstet mit 2 Scheinwerfern, Kameras, einem Ultraschallgerät sowie Meßinstrumenten soll er Tiefe und Gestalt des Meeresbodens ermitteln. Von Bord eines Forschungsschiffes aus soll der Computer-ausgerüstete Roboter über entsprechende Kontroll- und Schaltgeräte gesteuert werden.
In der Perspektive sind für diesen Roboter Taucharbeiten in der Tiefsee geplant, da für Taucher die Arbeitsbedingungen in diesen Tiefen außerordentlich hart und gefährlich sind.

(ADN-WT 1583-11b)

## Neutronenmeßgerät ermittelt blitzschnell Bodenfeuchtigkeit

Ein tragbares bulgarisches Neutronenmeßgerät liefert in Sekundenschnelle Angaben über die Bodenfeuchtigkeit. Eine Sonde wird bis zu 2 m tief in den Boden eingeführt und die Feuchtigkeitswerte (g Wasser/cm³ Boden) können augenblicklich von der Skale des Gerätes abgelesen werden. Bisher waren mehrstündige Laboruntersuchungen von Bodenproben erforderlich, um zum gleichen Ergebnis zu gelangen. Das 6,5 kg schwere Gerät, das im Institut für Kernforschung und Energiewirtschaft bei der Bulgarischen Akademie der Wissenschaften entwickelt wurde, wird mit Batterien betrieben und arbeitet mit einer Toleranz von 2%, was von Fachleuten als hohe Genauigkeit eingeschätzt wird.

(ADN-WT 1595-16b)

## Wiegen im Bruchteil einer Sekunde

Ein neuartiges Wägesystem wurde an der TH Ilmenau entwickelt. Seine Vorteile liegen im Vergleich zu internationalen Erzeugnissen in seinem großen Wägebereich, der von wenigen Gramm bis zu einigen Tonnen reicht und in extrem kleinen Wägezeiten von Bruchteilen einer Sekunde.
Durch Ausnutzung des Wellencharakters des Lichts lassen sich verschiedene physikalische Größen mit hoher Genauigkeit und Schnelligkeit messen. So handelt es sich bei den hier verwendeten Sensoren um sogenannte interferenzoptische Kraftsensoren. Das Wägesystem ist frei programmierbar und ermöglicht automatisches Dosieren, Klassifizieren und Zählen. Die für den Rechneranschluß notwendige Quantisierung kann unmittelbar im Sensor vorgenommen werden.
Ein Prototyp dieses Gerätes mit einem Wägebereich bis zu 5 kg wurde im VEB Wägetechnik RAPIDO Radebeul hergestellt.

(ADN-WT 1594-8a)

## Mikro-Mäuse

Mikro-„Mäuse" — das sind mit Sensoren und Mikroprozessoren ausgerüstete Gebilde — tragen alljährlich beim Symposium der Euromicro (European Association for Microprocessing and Microprogrammierung) ein Rennen aus. Dabei müssen sie in möglichst kurzer Zeit mit eigener Kraft (Batterien) und ohne jegliche Hilfe von außen den Weg durch ein Labyrinth finden. In diesem Jahr siegte in Madrid von 13 „Teilnehmern" der Schlußrunde die in Finnland gebaute „Maus" „Manu/Telu". Der zweite Platz ging ebenfalls an Finnland für den „Microsaurus". Dritte wurde die britische „Maus". Das nächste elektronische „Mäuserennen" findet 1984 in Kopenhagen statt.

(ADN-WT 1594-25b)

## Busse mit Mikrocomputern

Eine Senkung bei Investitions- und Betriebskosten erbringen Mikrocomputer, die die Budapester Verkehrsbetriebe seit September vorigen Jahres für die Erhöhung der Effektivität im Busverkehr einsetzen. Diese Geräte halten auf der Grundlage des Achsfederdruckes Angaben über die Fahrgästezahl im Verhältnis zu Zeitpunkt und Ort fest. Das verhilft der Betriebsleitung zu exakten Daten über die Auslastung der Fahrzeuge. Das Material wird täglich von einem Rechner aufgearbeitet und steht dann zur Steuerung des Fahrzeugeinsatzes zur Verfügung.

(ADN-WT 1600-28b)

# KURZFASSUNGEN

*Sokollik, F.; Brack, G.:*

**Hierarchische Steuerungen zur operativen Lenkung Großer Systeme**

msr, Berlin 27 (1984) 5, S. 194–197

Zur Lösung einiger Probleme der operativen Lenkung in Großen Produktionssystemen kann die Theorie der hierarchischen Steuerung angewandt werden. Die Optimierungsprobleme lassen sich oftmals nicht streng lösen, d. h., die Verletzung von Nebenbedingungen muß toleriert werden. Methoden zur Problemlösung und Koordinierung werden diskutiert. Die Lösung kann als eine Kombination einer „unscharfen dynamischen Koordinierung" in einer „zeitweiligen Mehrschicht-Hierarchie" dargestellt werden. Abschließend wird ein spezielles Koordinierungsproblem für Teilsysteme diskutiert, die durch gemeinsame beschränkte Ressourcen gekoppelt sind.

*Metzing, P.; Kiesewetter, L.:*

**Steuerungsalgorithmen der operativen Lenkung für einen Anlagenkomplex zur Dieselkraftstoffherstellung**

msr, Berlin 27 (1984) 5, S. 197–199

Ausgehend von typischen Störungen bei der Steuerung von Anlagenkomplexen zur Erdölverarbeitung wird eine Vorgehensweise zur Ermittlung effektiver Steueralgorithmen beschrieben. Es wird gezeigt, daß neue Störsituationen oft auch neue Aufgabenstellungen für die Optimierung zur Folge haben. Als Anwendungsbeispiel wird für einen Anlagenkomplex zur Dieselkraftstoffherstellung eine im Dialog arbeitende Entscheidungshilfe zur Berechnung von optimalen Steuervektoren vorgestellt.

*Hanisch, H.-M.; Helms, A.:*

**Formalisierte Beschreibung der Aufgabenstellung zur Ablaufsteuerung von Chargenprozessen in Anlagen mit flexibler Struktur**

msr, Berlin 27 (1984) 5, S. 200–203

Anlagen mit flexibler Struktur dienen zur Herstellung hochveredelter Produkte der Chemieindustrie im Chargenbetrieb. Die übersichtliche und exakte Beschreibung der Chargenprozesse durch den Technologen als Grundlage für eine Automatisierung bereitet oft Schwierigkeiten. Im Beitrag werden Darstellungsmittel und Vorgehensweisen zur Systematisierung der Lösung dieser Aufgabe vorgestellt.

*Böhlert, H.:*

**Erfahrungen des Aufbaus und der Nutzung einer Systemlösung zur Automatisierung von Experimenten im Maschinenbau**

msr, Berlin 27 (1984) 5, S. 203–206

Zur rechentechnischen Unterstützung der Mehrzahl der an der Technischen Hochschule „Otto von Guericke" Magdeburg experimentell arbeitenden Kollektive wird eine hierarchisch strukturierte Systemlösung zur Automatisierung von Meßwerterfassung, Meßdatenverarbeitung und Experimentsteuerung aufgebaut. Nach Erstellung eines zentralen leistungsfähigen Rechenkomplexes stehen derzeit die Schaffung von niveauvollen Fernzugriffsmöglichkeiten und der Aufbau einer Gerätorechnerebene im Vordergrund.

*Oschornack, P.:*

**Prüfeinrichtungen für Flüssigkeits-Durchflußmittel — ein Variantenvergleich der Versorgungseinrichtungen**

msr, Berlin 27 (1984) 5, S. 207–209

Der Beitrag befaßt sich mit einem wesentlichen Element von Prüfeinrichtungen, der Versorgungseinrichtung, deren Aufgabe die Bereitstellung und Stabilisierung des erforderlichen Volumenstroms ist. Es werden die Realisierungsmöglichkeiten aufgezeigt und aus der Sicht ihrer Steuerbarkeit diskutiert. Die angegebenen Schemata und Gleichungen sollen das Verständnis für die Zusammenhänge zwischen den auftretenden Einfluß- und Auslegungsgrößen erleichtern. Sie gestatten die Ableitung von Steuerungsstrukturen und die Abschätzung der erreichbaren Stabilisierungsgüte.

*Lorenz, G.; Kettner, G.:*

**Zum Entwurf von Mikrorechnerstrukturen zur Versuchsautomatisierung**

msr, Berlin 27 (1984) 5, S. 213–217

Ausgehend von der Darstellung der Versuchsautomatisierungsfunktionen werden die Aufgaben in den einzelnen Ebenen bei der komplexen Versuchsautomatisierung beschrieben und die Notwendigkeit eines methodischen Entwurfskonzepts vor allem auf der untersten Ebene begründet. Die aus relevanten Klassen von Versuchsaufgabenstellung, Objekt- und Signaleigenschaften resultierenden Software- und Hardwaremoduln werden erläutert, und die Vorgehensweise beim Entwurf wird skizziert.

*Badelt, W.; Richter, J.; Kowollik, P.:*

**Einsatz der Mikrorechnerfamilie K 1600 zur Labor- und Versuchsautomatisierung**

msr, Berlin 27 (1984) 5, S. 217–219

Für die Mikrorechnerfamilie K 1600 wird ein Prozeß-Eingabe/Ausgabe-Subsystem auf der Basis von Komponenten der ursadat 5000 vorgestellt, das vorzugsweise für die Automatisierung wissenschaftlicher Experimente ausgelegt ist. Eine umfangreiche Software für die Bedienung des PEA-Subsystems sowie problemorientierte Softwarekomponenten gestatten die Nutzung der Gerätetechnik auch mit der Programmiersprache FORTRAN.

# РЕЗЮМЕ

*Sokollik, F.; Brack, G.:*

**Иерархические устройства оперативного управления крупными системами**

msr, Berlin 27 (1984) 5, стр. 194–197

Для решения ряда проблем оперативного управления в крупных производственных системах возможно применение теории иерархического управления. Часто проблемы оптимизации не рашаются строго, т. е. нарушение дополнительных условий должно быть допущено. Обсуждены методы по решению проблем и по координации. Решение может быть изображено как комбинация „нерезкой динамической координации" в рамках „временной многослойной иерархии. Заключительно обсуждена специальная проблема координации подсистем, связанных при помощи совместных ограниченных ресурсов.

*Metzing, P.; Kiesewetter, L.:*

**Алгоритмы оперативного управления для комплекса устройств изготовления дизельного топлива**

msr, Berlin 27 (1984) 5, стр. 179–199

Исходя из типичных возмущений при управлении комплексами устройств обработки нефти описан метод определения эффективных алгоритмов управления. Показано, что новые ситуации возмущения часто и приводят к новым заданиям оптимирования. Как пример применения для комплекса устройств изготовления дизельного топлива представлено решающее пособие, работающее в диалоге для расчета оптимальных векторов управления.

*Hanisch, H.-M.; Helms, A.:*

**Формализированное описание задания для программного управления циклическими процессами на установках с гибкой структурой**

msr, Berlin 27 (1984) 5, стр. 200–203

Установки с гибкой структурой предназначены для изготовления высокообогащенных продуктов химической промышленности, в циклическом режиме. Часто, для технолога наглядное и точное описание циклических процессов как основа для автоматизации делает определенные трудности. В статье представлены средства изображения и методы систематизации решения данной задачи.

*Böhlert, H.:*

**Опыт построения и пользования системным решением для автоматизации экспериментов в области машиностроения**

msr, Berlin 27 (1984) 5, стр. 203–206

Для вычислительно-технической поддержки большинства коллективов, работающих в Высшей технической школе им. Отто фон Гуерике г. Магдебург, построено иерархически структурированное системное решение для автоматизации сбора измеряемых значений, обработки измерительных данных и для управления экспериментами. После разработки центрального производительного вычислительного комплекса на переднем плане в настоящее время находятся создание серьезных возможностей дистанционного доступа и построение уровня приборных вычислителей.

*Oschornack, P.:*

**Испытательные устройства для средств проходящего потока жидкостей — сравнение вариантов устройств питания**

msr, Berlin 27 (1984) 5, стр. 207–209

Статья занимается одним из важных элементов испытательных устройств, устройства питания, задача которого — подготовка и стабилизация необходимого объемного потока. Показаны возможности реализации и рассмотрены из вида их управляемости. Указанные схемы и уравнения должны облегчать понимание связей между возникающими величинами влияния и интерпретации. Они допускают вывод структур управления и оценку достигаемого качества стабилизации.

*Lorenz, G.; Kettner, G.:*

**О проекте микровычислительных структур для опытной автоматизации**

msr, Berlin 27 (1984) 5, стр. 213–217

Исходя из изображения функций опытной автоматизации описаны задачи на отдельных уровнях при комплексной опытной автоматизации и обоснована необходимость методического концепта разработок, прежде всего на самом низком уровне. Объяснены модули математического и аппаратурного обеспечения, результирующие из релевантных классов установки опытных задач, свойств объектов и сигналов, а также и наброшен образ действий при разработке.

*Badelt, W.; Richter, J.; Kowollik, P.:*

**Применение микровычислительного семейства К 1600 для лабораторной и опытной автоматизации**

msr, Berlin 27 (1984) 5, стр. 217–219

Для микровычислительного семейства К 1600 представлена субсистема связи с объектом на базе компонентов УРСАДАТ 5000, которая рассчитана предпочтительно для автоматизации научных экспериментов. Широкое матобеспечение для управления субсистемой связи с объектом, а также и проблемоориентированные компоненты матобеспечения допускают применение аппаратурной техники, а также и при помощи языка программирования ФОРТРАН.

## SUMMARIES

*Sokollik, F.; Brack, G.:*

**Hierarchical Controls for the Operative Guidance of Large Systems**

msr, Berlin 27 (1984) 5, pp. 194—197

For the solution of some problems of the operative guidance in large production systems the theory of hierarchical cotrol may be applied. The optimization problems may often not be solved strictly, i.e. the violation of the side conditions is to be tolerated. The authors discuss methods for problem solving and coordination. The solution can be represented in form of a combination of a fuzzy dynamic coordination in a temporary multi-layer hierarchy. Finally, a special coordination problem for subsystems coupled by common restricted resources is treated.

---

*Metzing, P.; Kiesewetter, L.:*

**Control Algorithms of the Operative Guidance for a Diesel Production Plant**

msr, Berlin 27 (1984) 5, pp. 197—199

Starting from typical disturbances with the control of petroleum processing plants the authors describe an approach for the determination of efficient control algorithms. It is shown that new perturbation situations often result in new problem statements for the optimization, too. As application example the authors present a dialog-oriented decision tool for calculating optimal control vectors in a Diesel production plant.

---

*Hanisch, H.-M.; Helms, A.:*

**Formalized Description of the Problem Statement for the Operating Control of Batch Processes in Flexible Structure Plants**

msr, Berlin 27 (1984) 5, pp. 200—203

Plants with flexible structure serve for producing highly refined products of the chemical industries in batch operation. The clear and exact description of the batch processes by the technological staff as base for automation often causes difficulties. In this contribution the authors present representation means and approaches for systematizing the solution of this problem.

---

*Böhlert, H.:*

**Experiences in Establishing and Using a System Solution for Experiment Automation in Mechanical Engineering**

msr, Berlin 27 (1984) 5, pp. 203—206

As a computer support for the majority of experimentally working groups at the Magdeburg Technical College „Otto von Guericke" a hierarchically structured system solution for the automation of measurement data acquisition and processing as well as experiment control is being established. After the installation of a central efficient computer complex the realization of intelligent remote access and the establishment of a device computer level are now of primary interest.

---

*Cschornack, P.:*

**Test Devices for Liquid Flow Media — a Variant Comparison of the Supply Facilities**

msr, Berlin 27 (1984) 5, pp. 207—209

The contribution deals with an essential part of test devices, namely the supply facilities which are to provide and stabilize the volume flow required. The author points out the realization possibilities and discusses them with regard to their controllability. The schemes and equations given are to facilitate the understanding of the relations between the arising influence and dimensioning quantities. They allow to derive control structures and to estimate the obtainable stabilization performance.

---

*Lorenz, G.; Kettner, G.:*

**On the Design of Microcomputer Structures for the Experiment Automation**

msr, Berlin 27 (1984) 5, pp. 213—217

Starting from the representation of the experiment automation functions the authors describe the tasks in the individual levels with the complex experiment automation and found the necessity of a methodical design conception above all in the lowest level. They explain the software and hardware modules resulting from relevant classes of experiment problem statement, object and signal characteristics and sketch the approach with the design.

---

*Badelt, W.; Richter, J.; Kowollik, P.:*

**On the Application of the Microcomputer Family K 1600 for the Laboratory and Experiment Automation**

msr, Berlin 27 (1984) 5, pp. 217—219

For the microcomputer family K 1600 the authors present a process input-output subsystem on the base of URSADAT 5000 components which is preferably layed out for the automation of scientifical experiments. An extensive software for serving the process input-output subsystem as well as problem-oriented software components allow the utilization of the apparates with the programming language FORTRAN, too.

## RÉSUMÉS

*Sokollik, F.; Brack, G.:*

**Des commandes hiérarchiques pour le guidage opératoire des grands systèmes**

msr, Berlin 27 (1984) 5, pp. 194—197

Pour la solution de quelques problèmes du guidage opératoire dans de grands systèmes de production, on peut appliquer la théorie de la commande hiérarchique. Souvent, les problèmes d'optimalisation ne peuvent pas être résolus rigoureusement, c'est-à-dire la violation des conditions supplémentaires doit être tolérée. Les auteurs discutent des méthodes pour la solution de problème et la coordination. On peut présenter la solution sous forme d'une combinaison d'une coordination dynamique floue dans une hiérarchie temporaire à couches multiples. En terminant, les auteurs traitent un problème de coordination spécial pour des sous-systèmes couplés par des ressources communes restreintes.

---

*Metzing, P.; Kiesewetter, L.:*

**Des algorithmes de commande du guidage opératoire pour une installation de production d'huile diesel**

msr, Berlin 27 (1984) 5, pp. 197—199

A partir de perturbations typiques dans la commande d'installations de transformation du pétrole, les auteurs décrivent une approche pour la détermination d'algorithmes de commande efficaces. Il est montré que de nouvelles situations perturbatrices souvent provoquent aussi de nouveaux problèmes pour l'optimisation. Comme un example d'emploi, les auteurs présentent une aide de décision par dialogue pour le calcul de vecteurs de commande optimaux dans une installation de production d'huile diesel.

---

*Hanisch, H.-M.; Helms, A.:*

**La description formalisée du problème pour la commande de déroulement de processus par charges dans des installations à structure flexible**

msr, Berlin 27 (1984) 5, pp. 200—203

Des installations à structure flexible servent à la fabrication de produits hautement raffinés de l'industrie chimique en exploitation par charges. La description claire et exacte des processus par charges établie par les ingénieures de fabrication comme base pour l'automatisation souvent cause des difficultés. Dans cette contribution, les auteurs présentent des moyens de représentation et des approches pour la systématisation de la solution de ce problème.

---

*Böhlert, H.:*

**Des expériences en établissant et utilisant une solution de système pour l'automatisation d'expériences en constructions mécaniques**

msr, Berlin 27 (1984) 5, pp. 203—206

Comme support informatique pour la majorité des groupes travaillant expérimentalement à l'école supérieure technique „Otto von Guericke" de Magdeburg, à présent, on établit une solution de système en structure hiérarchique pour l'automatisation de l'acquisition et du traitement des données de mesure et de la commande des expériences. Après l'installation d'un efficace complexe informatique central, la réalisation d'un téléaccès intelligent et l'établissement d'une couche des ordinateurs d'appareil sont les problèmes actuels.

---

*Cschornack, P.:*

**Des appareillages de test pour des milieux de débit liquides — une comparaison de variantes des dispositifs d'alimentation**

msr, Berlin 27 (1984) 5, pp. 207—209

La contribution s'occupe d'une partie essentielle d'appareillages de test, à savoir, du dispositif d'alimentation dont la tâche est de fournir et de stabiliser le flux de volume exigé. L'auteur montre les possibilités de réalisation et les discute en vue de leur gouvernabilité. Les schémas et les équations donnés doivent faciliter la compréhension des relations entre les grandeurs d'influence et de dimensionnement apparaissantes. Elles permettent de dériver des structures de commande et d'estimer la performance réalisable de stabilisation.

---

*Lorenz, G.; Kettner, G.:*

**Sur le projet de structures de microordinateur pour l'automatisation d'expériences**

msr, Berlin 27 (1984) 5, pp. 213—217

A partir de la représentation des fonctions d'automation d'expériences, les auteurs décrivent les tâches dans les individuels niveaux près l'automatisation complexe d'expériences et fondent la nécessité d'un concept de projet méthodique, surtout, dans le niveau le plus bas. Les modules de logiciel et de matériel résultant de classes importantes des problèmes d'expérience et caractéristiques d'objets et de signaux sont expliqués et l'approche près le projet est esquissée.

---

*Badelt, W.; Richter, J.; Kowollik, P.:*

**Sur l'emploi de la famille de microordinateurs K 1600 pour l'automatisation de laboratoires et d'expériences**

msr, Berlin 27 (1984) 5, pp. 217—219

Pour la famille de microordinateurs K 1600, les auteurs présentent un sous-système entrée-sortie de processus sur la base de composantes URSADAT 5000 qui est préférablement dimensionné pour l'automatisation d'expériences scientifiques. Un logiciel étendu pour servir le sous-système entrée-sortie de processus ainsi que des composantes de logiciel orientées sur problème permettent d'utiliser l'appareillage aussi à l'aide du langage de programmation FORTRAN.

## Bestellschein



## Technik-Literatur

Die aufgeführten Bücher können Sie mit diesem Bestellschein im Fachbuchhandel bestellen.

Expl.

**Grundlagen der Schweißtechnik**
Schweißfertigung
Hrsg.: *M. Beckert* und *A. Neumann*
1. Auflage, etwa 190 Seiten, 79 Bilder, 61 Tafeln.
Pappband etwa 14,— M (Ausland etwa 18,— M)
Bestell-Nr.: 5532975 ................

**Prozeßrechentechnik**
Automatisierte Systeme mit Prozeß- und Mikroprozeßrechnern
Von *W. Fritzsch*
2., stark bearbeitete Auflage, etwa 380 Seiten, 205 Bilder, 38 Tafeln.
Leinen etwa 28,— M (Ausland etwa 40,— M)
Bestell-Nr.: 5533425 ................

**Selbstorganisation von Vorhersagemodellen**
Von *A. G. Ivachnenko* und *J.-A. Müller*
1. Auflage, etwa 270 Seiten, 72 Bilder, 44 Tafeln.
Kunstleder 36,— M
Bestell-Nr. 5533521 ................

**Technik-Wörterbuch**
**Chemie und chemische Technik**
Englisch — Deutsch
Von einem Autorenkollektiv unter der Leitung von *H. Gross*
3., durchgesehene Auflage, 720 Seiten.
Kunstleder 55,— M (Ausland 70,— M)
Bestell-Nr.: 5517935 ................

Darüber hinaus können Sie alle in diesem Heft angezeigten und rezensierten Bücher des VEB Verlag Technik mit diesem Vordruck bestellen.

Expl.

........................................ ................
........................................ ................
........................................ ................
........................................ ................

........................................
Name, Vorname

........................................
Anschrift mit Postleitzahl

................ ................
Datum Unterschrift


**messen · steuern · regeln**

| | |
|---|---|
| Herausgeber | Kammer der Technik, Wissenschaftliche-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) |
| Verlag | VEB Verlag Technik<br>DDR-1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201<br>Telegrammadresse: Technikverlag Berlin<br>Telefon: 28700; Telex: 0112228 techn dd |
| Verlagsdirektor | Dipl.-oec. *Herbert Sandig* |
| Redaktion | Dr.-Ing. *Dietrich Werner*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 2870362)<br>Dipl.-Ing. *Dieter Herrmann*, Redakteur (Telefon: 2870374) |
| Lizenz-Nr. | 1112 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik |
| AN (EDV) | 15936 |
| Erscheinungsweise | monatlich 1 Heft |
| Heftpreis | 4,— M, Abonnementpreis vierteljährlich 12,— M; Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen. |
| Gesamtherstellung | VEB Druckerei „Thomas Müntzer“, 5820 Bad Langensalza |
| Anzeigenannahme | Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigen-Annahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, 1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201. Anzeigenpreisliste Nr. 7<br>Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, DDR-1157 Berlin, Hermann-Duncker-Str. 89 |
| Erfüllungsort und Gerichtsstand | Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in andere Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig. |
| Bezugsmöglichkeiten | |
| DDR | sämtliche Postämter |
| SVR Albanien | Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propagandititi te Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana |
| VR Bulgarien | Direkzia R.E.P., 11a, Rue Paris, Sofia |
| VR China | China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P.O. Box 88, Beijing |
| ČSSR | PNS — Ústřední Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Vinohradská 41, 12505 Praha<br>PNS, Ústřed na Expedicia Tlače, Gottwaldovo nám. 48, 88419 Bratislava |
| SFR Jugoslawien | Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzeće MLADOST, Ilica 30, Zagreb |
| Koreanische DVR | CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang |
| Republik Kuba | Empresa de Comercio Exterior de Publicaciones, O'Reilly No. 407, Ciudad Habana |
| VR Polen | C.K.P. i W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa |
| SR Rumänien | Directia Generala a Postei şi Difuzarii Presei, Palatul Administrativ, Bucureşti |
| UdSSR | Städtische Abteilungen von Sojuzpečat' oder Postämter und Postkontore |
| Ungarische VR | P.K.H.I., Külföldi Elöfizetési Osztály, P.O. Box 16, 1426 Budapest |
| SR Vietnam | XUNHASABA, 32, Hai Ba Trung, Hanoi |
| BRD und Berlin (West) | ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141—167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30 |
| Österreich | Helios Literatur-Vertriebs-GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, A-2345 Brunn am Gebirge |
| Schweiz | Verlagsauslieferung Wissenschaft der Freihofer AG, Weinbergstr. 109, 8033 Zürich |
| Alle anderen Länder | örtlicher Buchhandel;<br>BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, DDR-7010 Leipzig, Postfach 160, und Leipzig Book Service, DDR-7010 Leipzig, Talstraße 29. |


### Annahmebedingungen

Die Redaktion veröffentlicht nur solche Beiträge, die noch an keiner anderen Stelle des In- und Auslandes in dieser Form erschienen sind oder bis zur Veröffentlichung erscheinen werden und die die Verfasser bis zum Ablauf des ersten, dem Erscheinen folgenden vollen Kalenderjahres an keiner anderen Stelle veröffentlichen, ohne hierzu vorher die Zustimmung der Redaktion der Zeitschrift eingeholt zu haben. Mit der Annahme und Veröffentlichung des Manuskriptes geht das ausschließliche Verlagsrecht für alle Sprachen und Länder auf den Verlag über. Es ist ohne ausdrückliche Genehmigung der Redaktion nicht gestattet, fotografische Vervielfältigungen, Mikrofilme u. a. von Heften der Zeitschrift, einzelnen Beiträgen oder von Teilen daraus herzustellen. Ferner behält sich die Redaktion Änderungsvorschläge nach der Durcharbeitung der Beiträge vor. Beiträge müssen eine Kopie der Veröffentlichungsfreigabe des Betriebes bzw. des Institutes enthalten.
Richtlinien für die Manuskriptgestaltung sind dem Heft 1 (Beilage) messen · steuern · regeln 1984 zu entnehmen bzw. werden von der Redaktion auf Anfrage zugesandt. Die Einhaltung dieser Gesichtspunkte garantiert eine sofortige Bearbeitung und verzögerungsfreie Veröffentlichung der Arbeit in der Zeitschrift.

Hierbei handelt es sich um neue Titel aus der UdSSR, die dem sowjetischen Neuerscheinungsdienst "Novye knigi" entnommen sind. Die Bücher können über den Volksbuchhandel bestellt werden.

[1] *Žalnerovič, E. A., Titov, A. M.; Fedosov, A.I.:* Primenenie promyšlennych robotov (Anwendung von Industrierobotern). Belarus'(BSSR). 1. Quart. 1984. NK 83–46 (28).

[2] *Bulyčev, A. L.; Galkin, V. I.: Prochorenko, V. A.:* Analogovye integral'nye schemy (Analoge integrierte Schaltungen). Belarus'(BSSR). 3. Quart. 1984. NK 83–46 (30).

[3] Rasčety avtomatizirovannych sistem upravlenija (Berechnung von automatisierten Steuerungssystemen). Transport. 2. Quart. 1984. NK 83–46 (74).

[4] *Kaftanjuk, Ju. A.:* Vyčislitel'naja technika na avtomobil'nom transporte (Rechentechnik im Kraftverkehr) Transport. 3. Quart. 1984. NK 83–46 (109).

[5] Sistemy i sredstva avtomatizirovannogo upravlenija dorožnym dviženiem v gorodach (Systeme und Mittel der automatisierten Steuerung des Straßenverkehrs in Städten). Transport. 2 Quart. 1984. NK 83–46 (123).

[6] *Ščedrovickij, S. S.; Sklovskij, A. A.:* Avtomatizirovannye dorožnostroitel'nye mašiny (Automatisierte Straßenbaumaschinen). Transport. 4. Quart. 1984. NK 83–46 (129).

[7] Trudy Moskovskogo instituta inženerov železnodorožnogo transporta. Vyp. 710: Avtomatičeskoe upravlenie na transporte i v avtonomnych sistemach (Arbeiten des Moskauer Ingenieurinstitutes für Eisenbahntransport. Ausg. 710: Automatische Steuerung im Transport und in autonomen Systemen). MIIT. 4. Quart. 1984. NK 83–46 (169).

[8] *Ivanov, M. I.; Volkov, B. A.; Nogin, V. N.:* Osnovy upravlenija proizvodstvom i avtomatizirovannye sistemy upravlenija transportnym stroitel'stvom (Grundlagen der Steuerung der Produktion und automatisierte Systeme der Steuerung des Transportbauwesens). Transport. 3. Quart 1984. NK 83–46 (254).

[9] *Nabatov, O. S.; Vdovičenko, N. S.:* Svjaz' v avtomatizirovannych sistemach upravlenija vozdušnym dviženiem (Nachrichtentechnik in automatisierten Systemen der Steuerung des Flugwesens). Transport. 3. Quart. 1984. NK 83–46 (258).

[10] *Grigor'jan, G. D.:* Elementy nadežnosti technologičeskich processov (Elemente der Zuverlässigkeit technologischer Prozesse). Višča škola (USSR). 4. Quart. 1984. NK 83–47 (309).

[11] *Michajlov, V. S.; Bileckij, O. B.:* Osnovy postroenija i proektirovanija ASU v stroitel'stve (Grundlagen der Entwicklung und Projektierung von ASU im Bauwesen). Višča škola (USSR). 4. Quart. 1984. NK 83–47 (313).

[12] Rešenie inženernych i ekonomičeskich zadač na EVM (Lösung von ingenieurtechnischen und ökonomischen Aufgaben auf der EDVA) Višča škola (USSR). 4. Quart. 1984. NK 83–47 (318).

[13] Čislenno-analitičeskie metody issledovanija dinamiki i ustojčivosti složnych sistem (Numerisch-analytische Methoden zur Untersuchung der Dynamik und Stabilität komplizierter Systeme). Nauč. In-t matematiki ANUSSR. 4. Quart. 1984. NK 83–43 (69).

[14] *Demidovič, N. T.:* Vyčislitel'nye mašiny i programmirovanie (Rechner und Programmierung). Izd-vo Belorus. un-ta (BSSR). 2. Quart. 1984. NK 83–43 (296).

[15] Gibkoe avtomatičeskoe proizvodstvo (Flexible automatische Produktion). Mašinostroenie. 4. Quart. 1983. NK 83–44 (65a).

[16] *L'janova, D. S.:* Organizacija i planirovanie raboty vyčislitel'nogo centra (Organisation und Planung der Arbeit eines Rechenzentrums). Kazachstan (KazSSR). 4. Quart. 1984. NK 83–44 (65).

[17] *Ljašenko, I. N.; Klimenjuk, N. N.; Kališčuk, D. A.:* Modelirovanie predplanovych rešenij v upravlenii proizvodstvom (Modellierung von Vorplanentscheidungen in der Produktionssteuerung). Izd-vo Kiev. un-ta (USSR). 3. Quart. 1984. NK 83–45 (52).

[18] *Bobkov, Ju. N.:* Korreljacionnye metody i ustrojstva izmerenija sostavljajuščich signalov (Korrelationsmethoden und Meßeinrichtungen für Signalbestandteile). Izd-vo L'vov. un-ta(USSR). 3. Quart. 1984. NK 83–45 (63).

[19] Avtomatizacija upravlenija i povyšenie nadežnosti sredstv avtomatiki na železnodorožnom transporte (Automatisierung der Steuerung und Erhöhung der Zuverlässigkeit der Mittel der Automatik im Eisenbahntransport). Transport. 4. Quart. 1984. NK 83-45 (90).

[20] Avtomatizirovannye sistemy upravlenija i pribory avtomatiki. Vyp 72 (Automatisierte Systeme der Steuerung und Geräte der Automatik. Ausg. 72). Izd vo Char'k. un-ta (USSR). 3. Quart. 1984. NK 83–45 (129).

[21] Issledovanie operacij i ASU (Operationsforschung und ASU). Izd-vo Kiev. un-ta (USSR). Ausg. 23. 2. Quart. 1984. NK. 83–45 (148): Ausg. 24. 4. Quart. 1984. NK 83–45 (149).

[22] Mašinnaja obrabotka informacii. Izd-vo Kiev. un-ta (USSR). (Maschinelle Informationsverarbeitung). Ausg. 39. 3. Quart. 1984. NK 83–45 (153); Ausg. 38. 1. Quart. 1984. NK 83–45 (152).

[23] Modeli i sistemy obrabotki informacii. Vyp. 3 (Modelle und Systeme der Informationsverarbeitung. Ausg. 3). NK 83–45 (155).

[24] *Zelik, V. P.; Maksimov, M. O.:* Programmnoe upravlenie stankami (Programmsteuerung von Werkzeugmaschinen). Višča škola (USSR).

[25] Osnovy teorii vyčislitel'nych sistem (Grundlagen der Theorie rechentechnischer Systeme). Izd-vo Char'k. un-ta (USSR). 3. Quart. 1984 NK 83–45 (318).

[26] *Staniškis, Ju.:* Optimal'noe i adaptivnoe upravlenie biotechnologičeskimi processami (Optimale und adaptive Steuerung biotechnologischer Prozesse). Mokslas(LitSSR). 3. Quart. 1984. NK 83–48 (9).

[27] Promyšlennaja robototechnika i gibkie avtomatičeskie proizvodstva (Industrierobotertechnik und flexible automatische Produktion). Lenizdat. 3. Quart. 1984. NK 83–49 (68).

[28] *Kanarčuk, V. E.:* Osnovy nadežnosti mašin (Grundlagen der Zuverlässigkeit von Maschinen). Naukova dumka (USSR). 1982. NK 83–49 (361K).

[29] *Koroljuk, V. S.; Turbin, A. F.:* Processy markovskogo vosstanovlenija v zadačach nadežnosti sistem (Markovsche Erneuerungsprozesse in Aufgaben der Zuverlässigkeit von Systemen). Naukova dumka. 1982. NK83–49 (364K).

[30] *Juchnovskij, I. R.; Golovko, M. F.:* Statističeskaja teorija klassičeskich ravnovesnych sistem (Statistische Theorie klassischer Gleichgewichtssysteme). Naukova dumka. 1980. NK 83–49 (395K).

msr 8055

ISSN 0026-0347, mess., steuern, regeln
Berlin 27 (1984) 5, S. 193—240